

К 75-ЛЕТИЮ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

А.Ю. ГАГАРИНСКИЙ

РАЗВЕДКА БОЕМ

ВЫБРАННЫЕ МЕСТА
ИЗ ЯДЕРНОЙ ЖИЗНИ



2020



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

А.Ю. Гагаринский

РАЗВЕДКА БОЕМ

Выбранные места из ядерной жизни

к 75-летию атомной промышленности

Москва
2020

УДК 621.039
ББК 34.4

Разведка боем. Выбранные места из ядерной жизни. А.Ю. Гагаринский. – М.: НИЦ «Курчатовский институт», 2020, 168 с.: илл.

ISBN 978-5-00004-056-0

Читателю представлены «выбранные места» из потока ядерной жизни – очерки о непрерывной «разведке боем» на переднем крае атомной науки и техники. При этом главное внимание сосредоточено не столько на магистральном пути атомной энергии, сколько на несбывшемся – либо оставшемся на обочине прогресса, либо ожидающем возвращения в строй на новом витке научного развития. Рассказы о технике слегка разбавлены личными воспоминаниями автора, прожившего внутри «атомного проекта» страны уже почти три четверти века.

Книга рассчитана на широкой круг читателей, интересующихся атомной техникой, и может быть полезна даже специалистам.

Одобрено Редакционно-издательским советом Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» 11.10.2019 г.

УДК 621.039
ББК 34.4

Фото на обложке:
«Разбор полётов. В. Асмолов и А. Гагаринский (слева), Чернобыль, 1986 г.»

ISBN 978-5-00004-056-0

© Гагаринский А.Ю., 2020
© НИЦ «Курчатовский институт», 2020

Уважаемые читатели!

Об атомной энергии написаны тысячи книг – о её страшном явлении человечеству в 1945 году, о замечательных достижениях «атома для мира» и тяжёлых ядерных авариях. Почему автор набрался смелости добавить в эту гигантскую библиотеку сотню страниц? Просто есть надежда, что удалось найти ещё одну тропинку в бесконечном поле жизни атомной энергии.

Эту необыкнную тему автор хочет дополнить короткими историями о буднях «ядерной жизни» – порой «хорошо забытыми», порой известными, но обросшими трудно отскребаемыми мифами. Это попытки ответить на вечные вопросы, почему произошло так, а не иначе, рассказы о непрерывной «разведке боем», то есть о практическом контакте с «передним краем» неизведанного, о несбывшемся, оставшемся на обочине прогресса или ещё сохраняющемся на «листе ожидания». Ведь совершенно прав был наш главный конструктор атомной бомбы, академик Ю.Б. Харiton, когда говорил, что «список ошибок не менее важен, чем летопись достижений».

Все эти разнородные истории объединяет и то, что они известны автору не только и не столько из книг. По совету друзей сюда включено кое-что из собственной жизни внутри того особого мира, который назывался «атомным проектом», потом стал ядерной отраслью, и куда автору довелось попасть ещё ребёнком, чтобы остаться на всю жизнь. За это время была прекрасная возможность пообщаться, иногда очень недолго, иногда в течение десятилетий, с выдающимися людьми, создателями «атомной эры», и прежде всего с одним из отцов-основателей нашего института, академиком А.П. Александровым. К тому же судьба распорядилась так, что довелось побывать на ядерных объектах всех континентов, познакомиться и поговорить с целым рядом экспертов из не одного десятка стран, поучаствовать во многих проектах МАГАТЭ.

Всё это помогло выработать собственный взгляд на мотивацию решений, события и результаты ядерной деятельности, как теперь говорят, не обязательно совпадающий с «отлитой в бронзе» официальной историей. Представляется, что заимствованное у нашего великого классика определение жанра – «выбранные места» – очень подходит для задуманной цели: из мозаики фактов и их осмыслиения сложить общую идею. В данном случае – насколько «малоотходными» были добыча ядерных знаний и поиск совершенно новой техники пионерами освоения атомной энергии и их ближайшими последователями. Ведь пока что длительность «разведки боем» – всего лишь два человеческих поколения.

Жизнь покажет, будут ли эти короткие истории интересны читателю. Но прошлое и будущее атомной энергии небезразличны широкому кругу людей. А уж тем, кто избрал для себя науку делом жизни, должно быть просто полезно лишний раз посмотреть, что у атомщиков получалось, а что – нет, и почему. Надеюсь, кое-что заинтересует даже профессионалов.

Разумеется, автор просто обязан поблагодарить своих коллег, любезно согласившихся прочитать книгу или отдельные «новеллы», и вы сказать конструктивные замечания, которые автор с уважением принял от П.А. Александрова, В.Г. Асмолова, Б.А. Васильева, А.В. Ковалишина, Н.Е. Кухаркина, Ю.К. Панова, В.В. Петрунина, В.И. Полуничева, Л.Д. Рябева, В.А. Сидоренко, С.А. Субботина, В.Ф. Цибульского и Е.Б. Яцишиной.

СОДЕРЖАНИЕ

Почему Курчатов.....	7
Бомба «с русским размахом»	16
Почему Курчатов не разобрал свой «временный» реактор	21
Дорога к курчатовским реакторам	30
Несколько рождений атомного электричества	39
Атомные самолёты всё-таки летали.....	45
«Строить и жить помогает» ядерный взрыв	51
Керосин в ядерном реакторе	58
Судьба истребителя	63
Соревнование под водой	70
Гражданский атомный флот – почему Россия	75
«Изгнать атомную энергию с лица Земли»	83
Советская активная зона в американском баке	93
Курчатовский институт академика Александрова	100
Чернобыль своими глазами.....	111

Атомная станция на Красной площади.....	120
Атомный бур для Антарктиды	127
Кое-что о «быстрых» реакторах.....	132
Скандинавский громовержец и мирный атом	143
«Рядом шагает новый Китай».....	150
Снова из моря – теперь малые АЭС	157
Вместо заключения.....	165
Коротко об авторе	166

ПОЧЕМУ КУРЧАТОВ

Игорь Васильевич Курчатов был назначен начальником Лаборатории №2 распоряжением по АН СССР №122 от 10 марта 1943 года, за месяц до её официального образования (распоряжение №121 от 12 апреля). Конечно, биографов всегда интересовал не этот технический казус, легко объяснимый условиями того сурового времени, а то, как состоялся сам оказавшийся историческим выбор сорокалетнего профессора Ленинградского Физико-технического института научным руководителем «работ по урану». То, что написано ниже, – версия мотивов этого решения.

Вечная тема «учёный и власть» снова возникла на историческом перекрестке, когда выдающиеся достижения физики сошлись во времени с гигантскими geopolитическими провалами, что и привело к созданию ядерного оружия. Неизбежный вопрос – как власть нашла людей, взявших на себя, как мы сейчас говорим, «научное руководство» небывалой задачей?

Стоит сравнить судьбу трёх человек, двоим из которых история «присвоила» звание «отца атомной бомбы», а третий был признан «человеком №1» в попытке её создания. Прежде всего заметим, что это молодые учёные примерно одного возраста – Вернер Гейзенберг родился в 1901, Игорь Курчатов – в 1903 и Роберт Оппенгеймер – в 1904 году; они были определены на роли руководителей разработки практически одновременно – в 1942 году. Решения были приняты при наличии в каждой из трёх стран группы учёных, более авторитетных в тот период и уже внесших большой вклад в ядерную физику и смежные направления науки. Это относится даже к нобелевскому лауреату Гейзенбергу. На Западе первое время даже сомневались: Гейзенберг или Вайцзеккер руководят в Германии созданием «урановой машины».

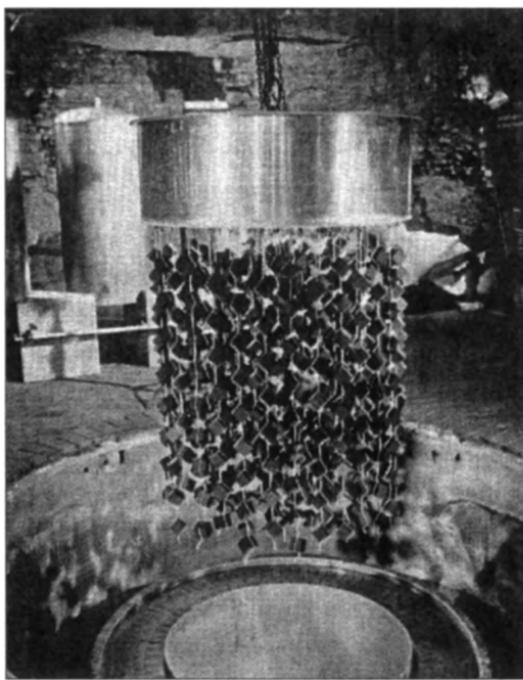
Ни у кого из выбранных ученых не было опыта руководства большими коллективами. К тому же, у них у всех было, по терминологии главы «Манхэттенского проекта» генерала Гровса, «пятнышко» в биографии с точки зрения тогдашней власти. Гейзенбергу вменяли в вину поддержку «еврейского духа в немецкой физике». Гровсу пришлось преодолевать сопротивление ФБР назначению Оппенгеймера из-за его «симпатий к коммунистам». Можно не сомневаться, что два дяди Курчатова, ушедшие за границу с остатками белой армии, и шестилетняя ссылка отца нашли отражение в его тогдашней «объективке». Но власть, когда надо, умела переступать через собственные догмы.

История не дала времени для оценки, насколько удачным был выбор нобелевского лауреата для создания немецкой «урановой машины». Мы знаем, что немецкий проект имел уверенный старт. Германские физики первыми завершили теоретические и экспериментальные исследования, необходимые для создания ядерного реактора на уране и тяжёлой воде. Они первыми предсказали накопление в урановом котле нового элемента, который американцы потом назвали плутонием, первыми наладили производство металлического урана. На решающем совещании с министром вооружений в июне 1942 года, по собственным словам Гейзенberга, ему не хватило «морального мужества» запросить достойные ресурсы, сравнимые если не тем, чем свободно оперировал руководитель «Манхэттенского проекта», то хотя бы со средствами, выделенными на проект FAU-ракет Вернера фон Брауна. Германское руководство не считало задачу приоритетной и решило вести ее «в ограниченных рамках». По некоторым оценкам, на германские ядерные исследования было затрачено в двести раз меньше средств и в них было занято в полторы тысячи раз меньше людей, чем в Манхэттенском проекте*. Гитлер так никогда и не принял учёных, отвечавших за атомную программу. Ядерное оружие просто «не вписывалось» в его военную доктрину. До 1942 года, когда ставка делалась на блицкриг, новые вооружения казались фюреру ненужными. После Сталинградской битвы и в преддверии второго фронта требовалось уже быстрое «сверхоружие». Запрашиваемых физиками трёх-пяти лет у него попросту не было. Последний «решающий» (и неудачный) эксперимент по пуску германского ядерного реактора в пивном подвале местечка Хайгерлох Гейзенберг провел в мае 1945 года уже под грохот французских танков.

* Всеволод Овчинников. Горячий пепел. Хроника тайной гонки за обладание атомным оружием. «Новый мир», №1, январь 1984 г.

В августе 1942 года администрация США приняла решение объединить все работы по созданию ядерного оружия, создав для этого организацию под кодовым названием «Манхэттенский проект», в распоряжение которого было предоставлено два миллиарда долларов. Что касается научного руководителя атомного проекта, выбор, не без сопротивления ФБР, пал на Роберта Оппенгеймера, не имеющего никакого опыта руководства большим коллективом сотрудников, но, как утверждают американские историки, проявившего удивительный двойной талант – блестящего администратора и теоретика. Результатом стал первый ядерный взрыв «Тринити» (так назвал его Оппенгеймер) возле Аламогордо 16 июля 1945 года. Позже он говорил, что, наблюдая за взрывом, вспомнил стих из священной индустской книги: «на небе разом взошли сотни солнц». Далее были атомные бомбардировки Хиросимы и Нагасаки.

Может быть, стоит напомнить, как сложилась дальнейшая судьба зарубежных творцов атомного оружия после завершения ими «главного дела жизни». Роберт Оппенгеймер ещё в активный период создания водородной бомбы в 1954 году был, как сказали бы в СССР, «лишён допуска к секретным работам», снят с поста в Комиссии по атомной энергии (кстати, практически одновременно с первым и последним партийным выговором И.В. Курчатову, правда, быстро снятым). Фактически это была политическая расправа. Лишённый своего дела, Оппенгеймер продолжал заниматься физикой, посетил Европу и Японию, выступал с лекциями о роли науки в обществе, стал офицером Ордена Почётного легиона во Франции, иностранным членом Лондонского королевского общества и, наконец, в 1963 году получил от Джона Кеннеди премию Энрико Ферми. Он пережил Курчатова на семь лет.



Май 1945 г. Высшее достижение В. Гейзенберга – недостроенная «урановая машина». Экспонат реконструированного реактора в «Атомном подвале» музея в Хайгерлохе (Atomkeller-Museum Haigerloch)

Наибольшим долгожителем среди лидеров атомных проектов оказался Вернер Гейзенберг. После полугода послевоенного содержания в Англии (союзники выясняли, насколько немцы были близки к созданию атомной бомбы), Гейзенберг вместе с Отто Ганом был приглашён заняться возрождением науки в разрушенной Германии. Он стал первым президентом Немецкого научно-исследовательского общества, главой Комитета по ядерной физике, инициатором работ по ядерным реакторам в Германии. В то же время Гейзенберг выступал против приобретения страной ядерного оружия, которое планировалось правительством Аденауэра, и в 1958 году подписал обращение к Генеральному секретарю ООН с призывом запретить ядерные испытания. Умер В. Гейзенберг в 1976 году.

Решение советского руководства «об организации работ по урану» (распоряжение ГКО от 28 сентября 1942 года) почти совпало по времени с похожим немецким решением и также содержало явно ограниченную по ресурсам программу («0,5 тонны цветных металлов... два токарных станка, 500 кв. м для размещения лаборатории и жилую площадь для 10 научных сотрудников»). Существо этого решения точно подмечено Л.Д. Рябевым – главным редактором фундаментальной истории в документах «Атомного проекта СССР»: «Гигантский размах работ по Манхэттенскому проекту в США во время войны и по атомному проекту СССР после войны создал определенный стереотип, который иногда невольно переносится на начальный этап работы Лаборатории №2. Но масштаб и условия работ, в которых они проходили, не имеют ничего общего с послевоенным периодом». Как пишет американский историк о решении 1942 года, «одобренный проект следует понимать как слабую гарантию от неопределённостей, которые могли возникнуть в будущем»*.

Для начала важной, но пока по существу поисковой и «малоресурсной» работы, руководитель был подобран быстро и логично. Достаточно очевидно, что решение прошло по цепочке: А.Ф. Иоффе – рекомендация, С.В. Кафтанов, отвечавший перед ГКО за науку – поддержка, В.М. Молотов – выбор молодого но, уже «сделавшего себе имя» в ядерной физике кандидата, на фоне более известных и имеющих высокие звания учёных. «Я его вызвал, поговорили, он произвёл на меня хорошее впечатление», – позднее вспоминал Молотов.

* «Атомный проект СССР» в 11 томах под ред. Л.Д. Рябева. М: «Наука», Физматлит, 1989–2009.

** David Holloway. *Stalin and the bomb*. Yale University Press, London, 1994.

Давайте подробнее поговорим о «маститых» кандидатах в руководители «работ по урану». Это прежде всего сам тогда 63-летний академик Абрам Фёдорович Иоффе, глава отделения Академии наук и самый высоко поставленный физик страны, обыкновенно именуемый «отцом советской физики». Академик был на год моложе «отца народов», и для принимающих решения об управлении важным проектом его возраст не мог быть веским аргументом «против». Но самого А.Ф. Иоффе именно этот фактор заставил отказаться от предложения (кстати, насколько можно судить, он был единственным, кто это сделал), тем более, что ещё в 1940 году Иоффе официально предлагал: «общее руководство проблемой в целом (использования внутриатомной энергии урана – прим. автора) следовало бы поручить И.В. Курчатову как лучшему знатоку вопроса, показавшему... выдающиеся организационные способности». После создания Специального комитета – штаба атомного проекта академик Иоффе был включён в состав его Технического совета.

Уже обладавший мировой известностью ученик Резерфорда, академик Пётр Леонидович Капица (49 лет) был наиболее близок к тогдашней власти. По подсчётом историков, за сталинское время он написал более ста писем кремлёвским вождям и имел собственный взгляд на проблему создания атомной бомбы (об этом чуть позже). Во время войны П.Л. Капица занимался внедрением промышленного способа получения жидкого кислорода, за что в 1945 году получил звание Героя Социалистического труда. Он – один из двух физиков, в августе 1945 года включённых в состав Спецкомитета. Но уже в декабре, после двух обращений к Сталину, он был оттуда выведен. Больше атомными делами академик Капица не занимался. Ноobelевскую премию он получил за открытие сверхтекучести жидкого гелия.

Основоположник советской радиохимии, директор Радиевого института, получивший первый в стране радий, академик Виталий Григорьевич Хлопин (53 года) с 1930-х годов участвовал в ядерных исследованиях. В 1940 году он стал председателем Комиссии по проблеме урана при Президиуме АН СССР. Интересно, что в составе комиссии были десять академиков и один старший научный сотрудник – Игорь Курчатов. В.Г. Хлопин был готов к активной роли в урановом проекте и пользовался поддержкой академика В.И. Вернадского. Он сыграл важную роль в становлении урано-рудной базы, разработке процесса химического выделения плутония. После взрыва первой советской атомной бомбы он получил звание Героя Соцтруда «за разработки технологического процесса выделения плутония».

Академик Николай Николаевич Семёнов (46 лет), один из основоположников химической физики, впоследствии единственный советский лауреат Нобелевской премии по химии, учениками которого были Я.Б. Зельдович

и Ю.Б. Харитон, ещё в 1934 году обосновал существование механизма цепной реакции. Он прекрасно понимал значение работ по атомной энергии и в конце 1945 года обратился в правительство с предложением об активном привлечении его лично и руководимого им института к созданию атомного оружия. Его Институту химической физики было поручено проведение расчётов, связанных с конструированием атомных бомб, подготовка полигона и оборудования для оценки поражающего действия атомного взрыва. За «разработки новейших приборов и методики измерений атомного взрыва» он получил Сталинскую премию и был награждён орденом Ленина.

Соратник Курчатова по Физтеху, уже член-корреспондент АН СССР, Абрам Исаакович Алиханов (39 лет) активно стремился к «работе по урану». Его кандидатура также содержалась в рекомендациях А.Ф. Иоффе. Впоследствии он стал одним из ведущих членов курчатовской команды, руководил направлением тяжеловодных реакторов. В 1949 году под его руководством был построен первый в СССР реактор на тяжёлой воде.

В принципе список возможных кандидатов в руководители Лаборатории № 2 можно было бы продолжать. Но для предлагаемой версии он достаточен. По-видимому, для принимавших решения выбор «руководителя работ по урану» не представлялся тогда ни судьбоносным, ни необратимым. Такое предположение ставит всё на свои места. Тогда и следовало выбирать из молодых, энергичных учёных-организаторов, а не титулованных корифеев, «отягощённых» своими институтами, другими работами, многолетними традициями. Что и было сделано.

Характерна фраза А.П. Александрова: «Курчатов уже давно, несмотря на ревность некоторых его коллег, в том числе очень заслуженных учёных, воспринимался нами как организатор и координатор всех работ в области ядерной физики». Ещё до войны собравшиеся вокруг Курчатова специалисты называли его «генералом».

«Я считаю большой удачей, – вспоминал А.П. Александров, – что во главе этой работы стал такой человек, как Игорь Васильевич. Были в то время талантливые учёные и, может быть, с большим опытом, но никто из них не смог бы так самоотверженно за-



1943 г. «Семнадцать звёздных лет»
Игоря Васильевича Курчатова

ниматься работой такого масштаба, так увлечь собственным интересом, так зажечь тот огромный коллектив, который был привлечён к этой работе. Игорь Васильевич умел наладить прекрасные связи и организовать чёткую работу огромного коллектива учёных, инженеров, рабочих. Он умел от каждого получать то, что тот мог сделать. Меня всегда поражала его способность работать с людьми самых разнообразных качеств».

Так начались, по выражению Е.П. Велихова, третьего директора Курчатовского института, «семнадцать звёздных лет» Игоря Васильевича. Но ему ещё предстояло доказать свое право руководить атомными работами в стране, что он блестяще и сделал. В суровых военных условиях началась необычайно трудная работа по постановке задачи и поиску путей её решения. Эти первые годы достались Курчатову особенно нелегко, и не только из-за материальных проблем. Вот что он пишет в докладе о состоянии работ в мае 1944 года: «Организация новой лаборатории, не имевшей кадров, своего помещения и аппаратуры, протекала в трудных условиях военного времени. Лаборатория не имела поддержки и в общественном мнении среди учёных, не посвящённых, по соображениям секретности, в ход дела и заражённых недоверием к его осуществлению».

Но процитируем снова А.П. Александрова: «Курчатов был Курчатовым, он взялся за это дело, вошел в него весь, и вскоре мы почувствовали его работу». Уже весной 1943 года, ещё до информации о пуске в США первого «уранового котла», И.В. Курчатов предлагает принципиальную программу работ по получению ядерных материалов. Его исторические записки того периода своим руководителям Ю.Б. Харiton считал «своеобразным самоучителем по ядерной физике для высших администраторов атомного проекта».

Однако состояние и темпы работ не могли быть приемлемыми для их руководителя. Сначала были обращения к «непосредственному руководству», чаще всего М.Г. Первухину. Когда ситуация, по убеждению Курчатова, стала критической, он впервые обращается к «второму человеку в стране»,



И.В. Курчатов, 1960 г.



Первые в мире испытания атомной бомбы в пустыне Аламогордо,
США, 16 июля 1945 года

Л.П. Берии (29 сентября 1944 г.), со смелым и крайне резким утверждением: «Несмотря на большой сдвиг в развитии работ по урану в 1943–1944 годах, положение дел остается совершенно неудовлетворительным» (выделено автором).

Как писал Л.Д. Рябев: «Именно конец ноября – начало декабря 1944 года можно считать переломным моментом в судьбе атомного проекта – Берия взял руководство программой в свои руки. Третьим декабря 1944 года датирован ключевой документ – Постановление ГКО № 7069сс «О неотложных мерах по обеспечению развертывания работ, проводимых Лабораторией № 2 АН СССР» за подписью Сталина. В документе с приложениями на более чем двадцати страницах детальнейшим образом перечислены все мероприятия по строительству и снабжению Лаборатории». Стоит заметить, что к концу 1944 года в Лаборатории № 2 общее число сотрудников, включая учёных, лаборантов и рабочих, составляло всего лишь около ста человек.

В 1945 году «работы по урану» стали высшим государственным приоритетом. Здесь уместно представить современную оценку^{*} решения, принятого советским руководством в тот переломный исторический момент:

«Движущей силой развития цивилизации являются глобальные (большие) вызовы. Эти вызовы определяют, в частности, приоритеты научно-

* М.В. Ковальчук, О.С. Нарайкин, Е.Б. Яцишина. Природоподобные технологии – новые возможности и новые вызовы. М: «Вестник РАН», 2018

технологического развития, которые, с точки зрения масштаба и глубины их влияния на социально-экономические процессы, делятся на две категории: тактические и стратегические.

Ярким примером точного баланса между стратегией и тактикой служит ситуация конца Второй мировой войны.

Реализуя тактические приоритеты, то есть создавая и производя всё больше эффективного вооружения и военной техники, СССР выиграл войну. К весне 1945 года Советская Армия была самой мощной, боеспособной и технически оснащённой армией мира. Но в августе 1945 года атомные бомбардировки Соединёнными Штатами Хиросимы и Нагасаки создали новый «атомный» вызов и задали новый стратегический приоритет.

Если бы Советский Союз не приступил к осуществлению «атомного» проекта в тяжелейшую для страны осень 1942 года, то есть не начал бы реализовывать этот принципиально новый стратегический приоритет, победа во Второй мировой войне была бы полностью обесценена, и само существование нашей страны оказалось бы под вопросом.

Но, ценой невероятных усилий, СССР создал ядерное оружие и средства его доставки, обеспечив на многие десятилетия мир на Земле».

К 1945 году вопрос о научном руководстве уже был практически решён. Первые советские ядерные испытания в августе 1949 года сделали Курчатова безусловным научным лидером создания атомного щита страны. Вот как описывает полномочия И.В. Курчатова в разгар «Атомного проекта» Е.П. Велихов: «Никогда раньше и никогда позже в мировой истории власть не передавала до такой степени бразды правления учёным. Не думаю, что так называемое руководство было очень довольно этим. Но у него не было выбора». Однако сначала надо было создать советскую атомную бомбу.

БОМБА «С РУССКИМ РАЗМАХОМ»

Игорь Васильевич Курчатов до конца своих дней хранил в сейфе короткую записку о впечатлениях от своей первой встречи с И.В. Сталиным 25 января 1946 года. Этот исторический документ и сегодня находится в Курчатовском институте. Разговор в Кремле шёл о самых разных проблемах «работ по урану»: от использования германского задела и немецких специалистов до материального обеспечения советских учёных. Но, пожалуй, главное, что оказалось исключительноозвучным внутренней позиции Курчатова, – это взгляд вождя на будущее развитие работ: «необходимо вести их широко, с русским размахом, в этом отношении будет оказана самая широкая всемерная помощь».

Уже 12 февраля Курчатов направил главе государства доклад, в котором изложил основные направления работ по проблеме урана, базирующиеся на результатах напряжённого трёхлетнего труда Лаборатории №2 и привлечённых Игорем Васильевичем научных сил. Из этого довольно короткого документа тем не менее хорошо видно, что в нём не пропущено ни одного из проанализированных тогда направлений создания атомного оружия. Три типа атомных котлов для получения плутония, пять способов выделения изотопа урана-235, естественно, создание самой конструкции атомной бомбы. Определены задачи 1946 года: «сооружение уран-графитового котла и конструирование атомной бомбы; сооружение диффузионного завода; получение тяжёлой воды». Но не забыты и последующие цели, например, расширение работ по добыче урана, разработка методов регистрации при мощных взрывах, получение урана-233 в атомных котлах и многое другое.

Не надо думать, что это были только идеи и намерения. К этому времени около полугода работал штаб «атомного проекта» – созданный 24 августа 1945 года Специальный комитет. Достаточно просмотра протоколов его регулярных заседаний (по пятницам в 9 часов вечера!), чтобы видеть – кроме огромной организационной работы по созданию новой отрасли техники и промышленности шла последовательная реализация научной программы И.В. Курчатова.

Ни одно из направлений этой программы не было обойдено вниманием Спецкомитета. Постоянная забота о развитии геологоразведки урана уже с октября дополняется задачей поисков тория. Кроме строительства «главных» комбинатов № 817 (производство плутония) и № 813 (газодиффузионное разделение изотопов урана), создаются ещё десятки производств: тяжёлой воды, гексафторида урана (основы разделительных производств), металлического урана, особо чистого графита и т.д. К работам подключаются более двух десятков научных организаций, в том числе таких известных, как Физико-технический (А.Ф. Иоффе), Физический (С.И. Вавилов), Радиевый (В.Г. Хлопин) институты АН СССР, Физико-технический институт (К.Д. Синельников) Украинской академии наук, с практически непрерывным контролем выполнения порученных им задач и дальнейших планов. Кстати, уже меньше чем через месяц работы Спецкомитета было принято решение о создании в Московском механическом институте факультета инженеров-физиков – кадры решают всё!

В общем, это наступление по всему фронту с постоянной «разведкой боем» возникающих по ходу дела задач и неотступным вниманием к «тыловому обеспечению». Может возникнуть вопрос – а разве допустимо было действовать как-то иначе, без этого «русского размаха»? Оказывается, такое предложение было и оно легло на стол вождя в ноябре 1945 года, за два месяца до его встречи с Курчатовым.

Это письмо И.В. Сталину от ученика Резерфорда и будущего нобелевского лауреата, академика Петра Леонидовича Капицы, введённого в состав Спецкомитета при его создании и через четыре месяца из него выведенного. Письмо это опубликовано*, каждый может его прочитать, поэтому оставим в стороне нeliцеприятную и исключительно смелую критику в адрес руководившего комитетом Л. Берии, за которым, правда, признаётся, что «он очень энергичен, прекрасно и быстро ориентируется, хорошо отличает второстепенное от главного, поэтому зря времени не тратит, у него,

* Атомный проект СССР II. Атомная бомба, 1945–1954. Под общей редакцией Л.Д. Рябева. М: «Наука», Физматлит, 1999, с. 613–620.

безусловно, есть вкус к научным вопросам, он их хорошо схватывает, точно формулирует свои решения».

Также не будем заостряться на эмоциональной оценке состояния работ, где автор в выражениях не стесняется:

«В организации работ по А.Б. [атомной бомбе], мне кажется, есть много ненормального. Во всяком случае, то, что делается сейчас, не есть кратчайший и наиболее дешёвый путь к её созданию... Не говоря о том, что не имеется принципиального подхода и общего плана, подбор людей и тематики происходит малоорганизованно. Технический совет – это громоздкое и неуклюжее учреждение, работающее, с моей точки зрения, плохо... Никакого строгого отбора тематики по определённому плану сейчас нет, и вокруг А.Б. начинается свистопляска. Пляшут и жулики, и авантюристы, и честные люди. Конечно, что-нибудь под конец и вытанцует, но явно это не тот короткий и дешёвый путь, по которому мы можем перешагнуть Америку».

Выделим главное – конкретные предложения академика П.Л. Капицы. Вот они: «Чтобы осуществить А.Б., американцы затратили 2 миллиарда долларов – это примерно 30 миллиардов рублей по нашей промышленной продукции. Почти всё это должно быть истрачено на строительство и машиностроение. Во время реконструкции и в 2–3 года это нам навряд ли поднять. Так что быстро идти по американскому пути мы не можем, а если пойдём, то всё равно отстанем.

При решении этих проблем пока плюс у нас только один – то, что мы знаем, что проблема А.Б. имеет решение; американцы шли на риск, его у нас не будет. Минусы у нас следующие:

1. Американцы опирались на более сильную промышленность, у нас она слабее, исковеркана войной и разрушена.

2. Американцы привлекли к работе наиболее крупных учёных всего мира. У нас учёных меньше, и они живут в плохих условиях, перегруженные совместительством, работают хуже.

3. Американцы имеют сильные научные базы, у нас их было всегда мало, и они потрёпаны войной...

4. Америка имеет хорошую промышленность научной аппаратуры, у нас эта область разбросана по различным наркоматам, находится в беспризорном и хаотическом состоянии...

Таким образом, по этим основным четырём пунктам у нас жестокий «хандикап». Но всё же мы не должны складывать оружие, у нас есть наши два главных преимущества: первое – в системе нашего государственного строя у нас большие возможности, организующие и мобилизующие ресурсы; второе – в силе нашего молодого организма страны. Хоть и тяжелова-

то будет, но, во всяком случае, попробовать надо скоро и дёшево создать А.Б. Но не таким путём, как мы идём сейчас, – он совсем безалаберен и без плана...

Мы хотим перепробовать всё, что сделали американцы, а не пытаемся идти своим путём. Мы забываем, что идти американским путём нам не по карману и долго. Поэтому первое, к чему мы должны стремиться, – это к наиболее эффективному использованию как людей, так и промышленности. А этого, я считаю, нет.

Было бы легче, если было бы известно, каким путём идти, но путь-то неизвестен, так что сперва нужна научная работа для нахождения пути, а для проведения в жизнь нужны соответствующая мощная промышленная база и организация. Но, не имея пути, нельзя как будто создавать базы. Это не так: тип заводов и промышленность мы можем довольно точно предсказать, во всяком случае, достаточно точно, чтобы дать необходимые указания для подготовки заводов и указать их масштабы.

Например, сейчас можно сказать, что, несомненно, нужна большая промышленность по metallurgии тория и урана.

Общий план действия, казалось, следовало признать следующий. На сегодняшний день надо выработать двухлетний план подготовки промышленности и за это время вести необходимую научно-экспериментальную и теоретическую работу. Пока будет готовиться промышленность, мы наладим научную часть. Этот двухлетний план можно, мне кажется, разработать...



Семипалатинский полигон: башня, где размещался заряд РДС-1, и первые испытания атомной бомбы 29 августа 1949 года

Резюмируя сказанное, прихожу к следующим выводам: для успешной организации разработки проблем по А.Б. нужно, с моей точки зрения, разбить проблемы на две части, которые даже можно организовать раздельно:

1. Быстрая, скажем, двухлетняя реконструкция и развитие ряда нужных для А.Б. отраслей промышленности и поднятие научной работы в Союзе.

2. Работа по нахождению более коротких и дешёвых путей производства А.Б. Для этого надо поставить хорошо отобранных учёных ведущими и им полностью доверять, чтобы чётко и организованно направлять научные силы страны».

Таким образом, вместо «движения по всему фронту» предлагался двухлетний выбор «короткого пути» и далее прорыв в выбранном направлении.

Сейчас мы знаем, какой путь был выбран и каков был результат. Предложение П.Л. Капицы осталось нереализованным. Конечно, в истории технических достижений человечества можно найти примеры, подобные «прорыву» в узком направлении. Из атомной эпопеи к этому, пожалуй, ближе всего история выбора ещё капитаном Риккером энергетического источника для атомных кораблей его страны. Предпочтя в конце 1940-х годов их трёх вариантов ядерную установку с водой под давлением, когда ещё ни одного такого реактора не существовало, он не изменял своему решению в течение более чем тридцатилетнего служения атомному флоту (единственное исключение в начале пути – атомная лодка «Морской волк», да и та очень быстро сменила натрий на воду).

Отец советского атомного флота – академик А.П. Александров по своим научным взглядам и действиям был гораздо ближе к принципиальной позиции своего друга, последовательно внедрявшейся Игорем Васильевичем в атомный проект, – обязательному резервированию технических направлений, обеспечивающему надёжность решения поставленных задач. Вот как он образно это пояснял: «Поначалу Бороду корили за то, что он разбрасывается, предрекали, что он не успеет «собрать все силы в кулак», и так далее. Однако постепенно пришло понимание, что это единственно разумный метод организации работ, что в конечном счёте большинство страхующих разработок не пропадает, а находит своё, иногда совершенно неожиданное применение. А разработка многих путей по каждому этапу в конечном счёте давала возможность выбора оптимального решения». Собственно, на этом принципе построена сегодня вся мировая ядерная энергетика.

ПОЧЕМУ КУРЧАТОВ НЕ РАЗОБРАЛ СВОЙ «ВРЕМЕННЫЙ» РЕАКТОР

Эту историю раскопал в архивах один из учеников Игоря Васильевича, лауреат Золотой медали им. И.В. Курчатова РАН, Николай Евгеньевич Кухаркин. В 2017 году она была опубликована в газете «Курчатовец», затем – в сборнике «Наш Курчатов»*. С любезного разрешения Н.Е. Кухаркина, автор представляет здесь эту историю с неразобранным реактором в более подробном изложении. Полные внутреннего драматизма события вокруг первого курчатовского реактора этого, безусловно, заслуживают.

Сначала напомним об американских «урановых котлах». Первый в мире ядерный реактор Энрико Ферми, CP-1, запущенный под трибунами площадки для игры в сквош (она принадлежала тогда Металлургической лаборатории Чикагского университета), проработал со 2 декабря 1942 года по 28 февраля 1943 года. По свидетельству американских историков, оригинальный план сооружения этой установки в Аргоннском лесном заповеднике штата Иллинойс (в 40 км от Чикаго) сорвался из-за забастовки рабочих. Оказывается, в США подобное было возможно даже во времена Пёрл-Харбора.

Именно на этой площадке, позже ставшей Аргоннской национальной лабораторией, из материалов CP-1 был сооружен Chicago Pile-2, запущен-

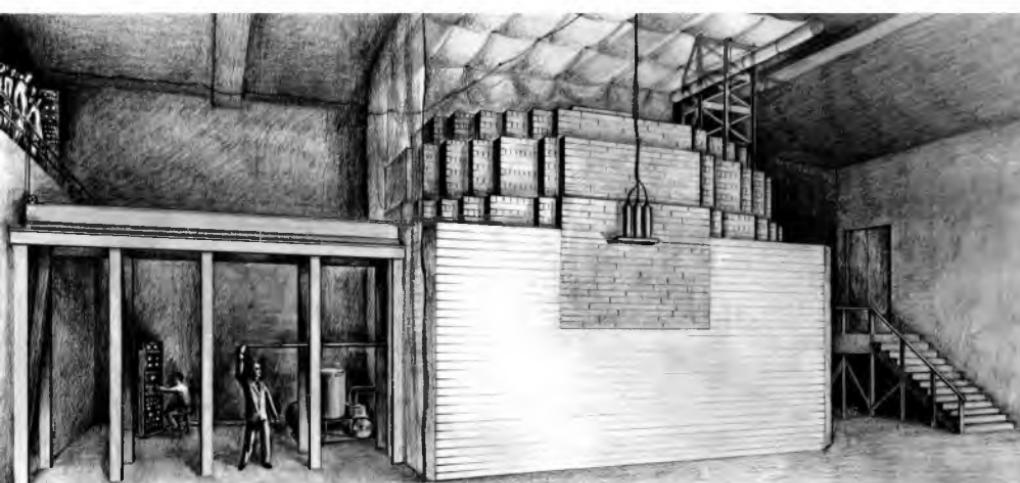
* «Наш Курчатов. К 115-летию со дня рождения». М: НИЦ «Курчатовский институт», 2018.

ный в марте 1943 года – ещё без охлаждения, но уже на мощности в несколько кВт. Реактор был снабжён довольно надёжной биологической защитой и подходил для исследований по оружейной программе лучше, чем CP-1. Кстати, годом позже там же был построен и Chicago Pile-3, первый в мире тяжеловодный реактор. Эти реакторы проработали до середины 1950-х годов.

В ноябре 1943 года был введён в строй «полуэкспериментальный» реактор X-10, впервые с принудительным воздушным охлаждением и уже значительной мощностью в 1000 кВт (она потом неоднократно увеличивалась). X-10 тоже сначала предполагали построить на Аргонской площадке, но потом выбрали более изолированное место в Восточном Теннесси, известное как Ок-Ридж. Согласно американским источникам, в начале 1944 года реактор производил несколько граммов плутония в месяц. К нему нам ещё предстоит вернуться в истории об атомном электричестве.

Через очень короткое время, в сентябре 1944 года, на новой площадке далёкого северо-запада США в Хэнфорде был запущен реактор В – первый в мире для промышленного производства плутония. Именно этот плутоний использовался при создании испытательного устройства, взорванного в пустыне Аламогордо, и атомной бомбы «Толстяк», сброшенной на Нагасаки.

Автору довелось побывать на реакторе В. Он стал музеем, а в 2008 году был объявлен национальным историческим памятником США. Огромное сооружение (с непривычными горизонтальными каналами) действительно



Первый в мире ядерный реактор CP-1 (Chicago Pile), декабрь 1942 г.

впечатляет. Хотя почему-то не меньшее внимание привлекли скромные деревянные вышки неподалёку, так похожие на что-то, очень нам знакомое. На наивный вопрос «зачем» последовал чёткий ответ: «для пулемётов от русских самолётов».

Всего в Хэнфорде вплоть до 1963 года было построено девять реакторов-наработчиков плутония, которые в сумме произвели его около 57 тонн (к этому надо добавить ещё пять реакторов на площадке Саванна-Ривер). Последний из этих реакторов был выведен из эксплуатации в 1987 году.

Столь подробно история «атомного начала» в США изложена для того, чтобы читатель мог сравнить её с программой, реализованной Курчатовым в нашей стране. Игорь Васильевич, насколько это было возможно, внимательно следил за достижениями американцев. Когда в июле 1943 года он узнал о реакторе Ферми, то назвал это сообщением «о событии, которое нельзя оценить иначе, как крупнейшее явление в мировой науке и технике».

В 1944 году ему стало известно о реакторе в Ок-Ридже (мы знаем его как Х-10). Он немедленно обращается к разведке с настоятельным запросом: «было бы крайне важно получить более подробные сведения об этой установке... Вызывает недоумение количество получаемого плутония».

Надо сказать, что многочисленные «отзывы» Курчатова о разведматериалах, облечённые в очень вежливую форму: «было бы крайне важно... исключительно важно», по существу представляют собой чёткие инструкции и конкретные задания. Если использовать сегодняшнюю терминологию, Игорь Васильевич просто осуществлял «научное руководство» самым главным тогда «урановым» направлением нашей разведки.

Теперь мы подошли к истории о курчатовских реакторах. Ещё до американских ядерных взрывов 1945 года М.Г. Первухин и И.В. Курчатов пишут в Государственный комитет обороны: «Имеющийся теоретический материал позволяет уже сейчас приступить к техническому проектированию уран-графитового котла. Это проектирование должно иметь в виду не только и не столько использование новых энергетических возможностей атомных котлов (Курчатов уже думает о ядерной энергетике – прим. автора), как образование в результате происходящих в котлах реакций атомного взрывчатого вещества – плутония». Действительно, проектировать промышленное производство плутония тогда можно было лишь на основе теоретических расчётов и скучных данных о первых американских реакторах.

Уже на одном из первых сентябрьских заседаний Специального комитета принимается решение двигаться по всем известным тогда направлениям получения «ядерной взрывчатки»:

«1. Принять внесённый Техническим советом проект Постановления Совнаркома СССР «О проектных, строительных и исследовательских работах по котлу уран-графит, диффузионному заводу, котлу уран-тяжёлой воды и магнитному способу» и представить его на утверждение Председателя Совета народных комиссаров СССР товарища Сталина И.В.

2. Поручить т.т. Ванникову Б.Л., Завенягину А.П., Курчатову И.В., Кикоину И.К., Борисову Н.А. в двухнедельный срок выбрать место постройки котла уран-графит и диффузионного завода и свои предложения представить Специальному комитету».

Место создания «комбината №817» – огромного предприятия для производства плутония было выбрано Спецкомитетом в ноябре того же года на берегу озера Кызылташ на Южном Урале – Челябинск-40 (ныне Озёрск). Сердцем комбината должен был стать уран-графитовый котёл – реактор А.

21 декабря 1945 года (официальная дата дня рождения «вождя народов»), через четыре месяца после ядерного уничтожения Хиросимы и Нагасаки, Совет народных комиссаров СССР за подписью И.В. Сталина принимает Постановление с ничего не говорящим названием «Об организации строительных управлений №№859 и 865», предписывающее приступить к строительству завода №817 для производства плутония и диффузионного разделительного завода №813. Срок ввода в действие плутониевого комбината был установлен предельно жёсткий – II квартал 1947 года (в итоге реактор А былпущен летом 1948 года) – и после этого буквально по дням контролировался руководством страны, хотя о конечной цели этой главной стройки государства знало чуть больше десятка человек. Никакого проекта ещё не было: Курчатова обязывали выдать технические данные для проектирования к 1 марта 1946 года.

Попробуйте представить себе отношение руководства страны к самой задаче и требовавшемуся темпу её исполнения. Из нескольких пунктов постановления, принятого в едва вышедшей из войны, наполовину разрушенной стране, многие промышленные центры которой лежали в руинах, выделены наиболее впечатлившие автора места:

«Разрешить Первому Главному управлению при СНК СССР финансирование стройуправлений №№859 и 865 производить без проектов и смет через Госбанк по фактической стоимости.

Обязать НКВД СССР... перебросить стройуправлениям №№865 и 859 все необходимые ресурсы (материалы, оборудование, рабочую силу и пр.) в количествах, обеспечивающих разворот строительных работ в соответствии с п. 1 настоящего Постановления.

Обязать НКПС (Народный комиссариат путей сообщения) и начальников железных дорог обеспечить перевозки перебрасываемых стройуправ-

лениям №№859 и 865 НКВД СССР материалов, оборудования и рабочих (с подачей вагонов в течение 48 часов).

В пятидневный срок решить вопрос о выделении стройуправлениям №№865 и 859 и доставке не позднее 1 февраля 1946 года воинскими транспортами 8-ми сформированных строительных батальонов, укомплектованных военнослужащими рождения 1911–1926 годов, годными к строевой службе, не подлежащими демобилизации, общим числом 8000 человек и 300 офицеров.

Было очевидно, что для проверки исходных данных технического проекта промышленного реактора нужен опытный аппарат, и он был предусмотрен в проекте завода №817. 20 января 1946 года Постановление СНК СССР поручает Лаборатории №2 АН СССР (т. Курчатову) и Первому Главному управлению при СНК СССР (т. Ванникову) к 15 февраля 1946 г. (снова обратите внимание на темпы – прим. автора) разработать технический проект опытной установки (её назовут Ф-1) и к 20 февраля 1946 г. представить в Совнарком СССР свои предложения о постройке названной опытной установки.

В Постановлении Совета Министров СССР от сентября 1946 года, несколько сдвигающем сроки пуска завода №817 («в связи с уточнением и значительным увеличением объёма работ»), фигурирует «Опытный агрегат «А» (уже названный Ф-2 – прим. автора) с лабораторией при нём».

За этот короткий промежуток времени произошло исключительно важное событие. По-видимому, в конце 1945 года Курчатов, глубже всех понимая ситуацию со строительством завода №817, возможными его сроками и острой необходимостью физического котла, приходит к поистине гениальному выводу о необходимости сооружения реактора на площадке своей Лаборатории. Ведь именно здесь, под его непосредственным каждодневным руководством, возможно привлечение учёных различных специальностей с оперативным решением всех вопросов создания и пуска первого в стране ядерного реактора.

Но «высокие» решения о первом опытном котле на Урале уже приняты, и их надо корректировать.

Вот что пишет Курчатов Л.П. Берии ранней весной 1946 года:

«В соответствии с Вашими указаниями намечено установить физический уран-графитовый котёл на Урале, где и предположено вести его эксплуатацию на предельно большой мощности, при которой ещё нет необходимости в искусственном охлаждении и которая по расчётом будет равна 20–30 кВт.

Физический уран-графитовый котёл строится нами для решения следующих задач:

1. Проверка исходных данных, положенных в основу технического проекта промышленного уран-графитового котла...

2. Испытание чистоты графита и урана, используемых при постройке котлов.

3. Получение плутония в количестве, большем, чем с помощью циклотронов.

Решение первой и наиболее важной для нас задачи можно и нужно вести при работе котла на ничтожно малой мощности, а при этих условиях возможность взрыва и аварии физического уран-графитового котла абсолютно исключается.

Имея в виду это важное обстоятельство, а также учитывая, что проверку исходных данных нужно выполнить в возможно короткий срок, чтобы не задержать выпуска рабочих чертежей основного агрегата промышленного котла и не затянуть тем самым срока ввода в действие этого агрегата, я прошу Вашего разрешения:

1. Временно (выделено автором) собрать физический уран-графитовый котёл в специально выстроенном для этой цели корпусе «К», расположенным на изолированной площадке Лаборатории №2 в Москве.

2. Вести его эксплуатацию при малых мощностях до того времени, пока на Урале не будет выстроено необходимое для котла помещение.

При наличии такого Вашего разрешения можно приступить к сборке физического котла в корпусе «К» в июне 1946 года и приступить в соответствии с решением Совета Министров СССР к монтажу промышленного уран-графитового котла в декабре 1946 года.

К сборке физического котла на Урале можно будет приступить примерно с полугодовым опозданием (в январе 1947 года), когда будет выстроено и просушено необходимое специальное помещение».

3 апреля 1946 года Курчатов вместе с Б.А. Ванниковым направляет «наверх» письмо с проектом Постановления Совета Министров СССР «О строительстве установки «Ф-1» в Лаборатории №2 АН СССР», предполагаяпустить её в действие к 1 сентября 1946 года. Нельзя сказать, что это решение проходит просто: сначала оно отклоняется Спецкомитетом «в связи с решением о перенесении строительства установки «Ф-1» с территории Лаборатории №2 в другое место». Но Курчатов умел добиваться того, в чём был уверен. Вопрос был положительно решён Спецкомитетом 18 мая 1946 года. Подчеркнём, что установка Ф-1 в этом решении называется «временной». Американский опыт разборки СР-1 учтён.

25 июня 1946 года Б.Л. Ванников и И.В. Курчатов докладывают Л.П. Берии о ходе строительства установок Ф-1 и Ф-2:

«По установке Ф-1: Признано целесообразным мощность установки при проведении исследовательских работ ограничить 1–10 ваттами. Это позволит обслуживающему персоналу, не подвергаясь чрезмерно вредно-

му облучению, производить перекладку графита и выполнять другие работы в период испытания установки.

Кратковременно (несколько дней) допускается увеличение мощности установки до 1 киловатта при условии, что последующие работы по перекладке графита и А-9 (это уран – прим. автора) будут производиться после длительного бездействия установки (неделя и более)...

Пуск установки (исходя из представленного академиком Курчатовым И.В. графика строительства Ф-1 и расчёта потребности А-9, определяемого им в количестве 30 тонн) намечен с учётом производственной программы А-9 в текущем году на 1.XII.1946 г.

По установке Ф-2: Одобрен, в основном, представленный академиком Курчатовым И.В. и т. Комаровским А.Н. проект строительства для размещения установки Ф-2...

Для размещения установки Ф-2 рекомендован участок на площадке объекта №817, в одном километре от агрегата №1 и в 0,5 км от железнодорожной ветки.

Окончание строительно-монтажных работ по зданию и прочим вспомогательным сооружениям установки Ф-2 намечено на 15 декабря 1946 года».

Физический котел Ф-1 был «пущен в действие» с опозданием всего на 25 дней от планируемых Курчатовым сроков. 25 декабря 1946 года на нём впервые за пределами Северной Америки была получена ядерная цепная реакция. Это была огромная победа, после которой начались трудовые будни по экспериментальному обоснованию характеристик промышленного реактора.

Можно предполагать, что уже после первых испытаний опытного котла на больших мощностях (100 кВт и выше) Курчатову стало ясно, что пускать второй «физический котел» на Урале нет необходимости. Но здание для реактора Ф-2 на Урале уже строилось, и менять «высокие» решения было непросто. Началась их «плавная» отмена. В марте 1947 года в записке Л.П. Берии Курчатов просит утвердить решение о работе физического котла на площадке Лаборатории до сентября 1947 года «с разборкой его к 1 ноября 1947 г.».

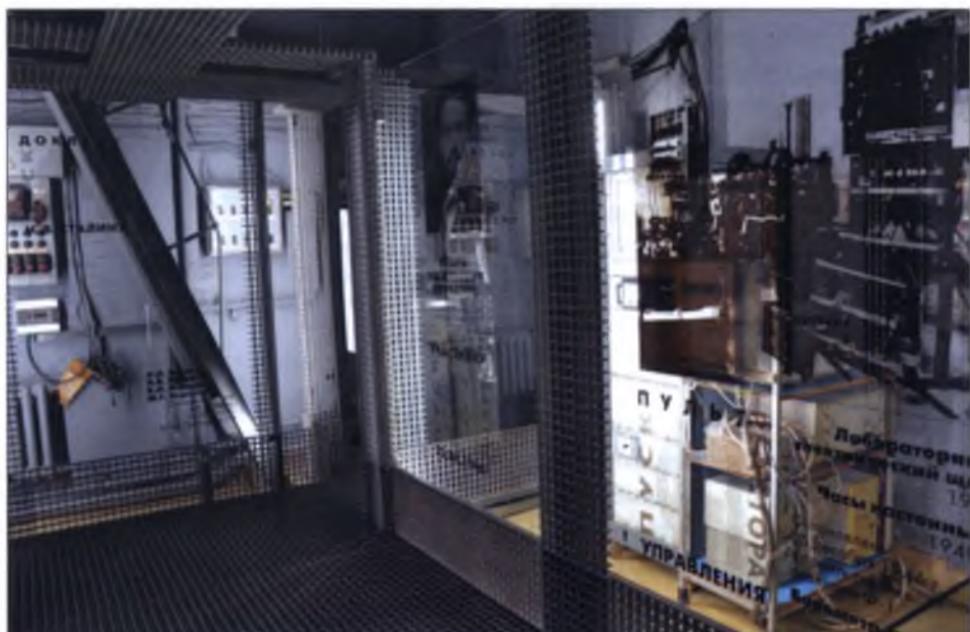


Сборка реактора Ф-1
в Лаборатории №2, 1946 год

В отчете т. Сталину в декабре 1947 года Курчатов докладывает о выполнении на Ф-1 практически всей программы исследований, необходимых для пуска промышленного котла: «В течение 1947 года на физическом уран-графитовом котле сотрудниками Лаборатории №2 непрерывно производились опыты и исследования, которые дали возможность проверить все исходные физические и технические данные, положенные в основу проекта строящегося промышленного уран-графитового котла (завод №817)...

За истёкшее время в опытном котле накоплено около 0,5 г плутония. В Лаборатории №2 из 5 кг облученного в опытном котле урана выделено 15 мкг плутония в солях и изучены микрохимическим путем свойства некоторых химических соединений плутония для разработки технологии химических процессов завода №817... В феврале этого года мы выделили 2000 мкг плутония и проверили аффинажную часть проекта металлургического завода комбината №817...

В течение 1947 года через экспериментальные каналы котла были пропущены 60000 урановых блоков, изготовленных заводом №12 ПГУ для закладки в атомный котёл. Результаты получились очень хорошими. Хорошим же оказалось и качество графита и алюминия, лишь отдельные партии материалов были забракованы после проверки на физическом котле...



В музее Ф-1, 2017 год

Понятно, что объём и глубина исследований, проведенных за короткий срок на Ф-1, оказались существенно больше, чем планировалось. Реактор выводился на мощность, намного превышающую установленный первоначально уровень. Это позволило изучить много вопросов, решение которых планировалось получить на установке Ф-2».

Стоит добавить, что для вывода на мощность, необходимую для наработки плутония, «управление котлом, – как пишет Курчатов, – осуществлялось из главного корпуса Лаборатории №2 на расстоянии 1,5 км от котла и показало настолько высокую надёжность работы, что в отдельных случаях мы вели ядерный процесс на уровне мощности, эквивалентной 6000 кВт». Одновременно при «больших разгонах котла» была экспериментально доказана его ядерная безопасность за счёт отрицательного температурного эффекта, гасящего цепную реакцию.

Вопрос о реакторе Ф-2 на Урале был уже закрыт, но использование урана из Ф-1 для промышленных нужд никто не отменял. Откладывать разборку Ф-1 надо было продолжать. В феврале 1948 года Курчатов пишет Б.Л. Ванникову: «Ваше задание накопить с помощью установки Ф-1 необходимое количество продукта для установки №5 НИИ-9 Лабораторией №2 выполнено. В связи с проведённой работой, разборка системы Ф-1 не может быть произведена ранее 1 мая с.г., на что имеется Ваше разрешение.

Планом работ Лаборатории №2, рассмотренном на НТС, предусматривается выполнение исследований с помощью установки Ф-1... Прошу Вашего разрешения не разбирать установку Ф-1 ранее 1 ноября 1948 г.».

Первый промышленный уран-графитовый реактор А былпущен в июне 1948 года, уран из реактора Ф-1 для этого не понадобился. За ним последовали «отечественные Хэнфорд и Ок-Ридж» – промышленные реакторы Северска и Железногорска. После испытаний первой советской атомной бомбы в 1949 году решения Курчатова уже не обсуждались. Реактор Ф-1 не разобран до сих пор. Если тебе, читатель, доведётся посетить Курчатовский институт – а это вполне возможно, – ты сможешь дотронуться рукой до первого советского реактора.

ДОРОГА К КУРЧАТОВСКИМ РЕАКТОРАМ

Побывав у вершин атомного проекта, давайте посмотрим на него изнутри. Надеюсь, эти воспоминания могут быть интересны потому, что это заметки из жизни в одном из его базовых подразделений, куда волею судьбы попал семилетний мальчик.

Начать придётся издалека – с 1937 года. Мой отец с красным дипломом заканчивает химический факультет МГУ. Впереди ожидается работа на кафедре главного вуза страны. Но в семье у него, как и у Игоря Васильевича Курчатова, нашёлся родственник, ушедший с белой армией за кордон. Почти обошлось, но вместо МГУ пришлось работать в школе далёкого рабочего посёлка учителем – как ни странно, географии. Положительным в этой истории было то, что там же работала очень симпатичная учительница физкультуры. Иначе кто бы писал эти заметки?

Бессмысленно гадать, как сложилась бы судьба семьи дальше, но грянула война. Противник обладал не только прекрасной химической промышленностью, но и опытом боевого применения отравляющих газов. Поэтому химиков призывали на фронт одними из первых, причём для работы «по специальности». Отец оказался в рядах Красной армии в августе 1941 года.

Теперь упомяну об одном факте, для которого хочется применить высокое слово «предназначение». Человек обычно начинает осознавать себя где-то года в три, значит, это был 1942 год. Одно из моих первых воспоминаний: я на берегу огромного, очень холодного и очень синего озера, а на горизонте высокие горы – тогда всё для меня было большим. Сейчас я знаю,

что это Урал, куда мы попали в результате великого переселения под суро-вым названием «эвакуация». Озеро называется Ирtyш, совсем рядом озеро Кызылташ – это край тысячи озёр. Именно здесь через три года начнётся строительство гигантского комбината, производящего не существующий на Земле плутоний. Так что я побывал в этом историческом месте на три года раньше Игоря Васильевича Курчатова.

Когда война закончилась, у власти уже не могло быть политических претензий к тридцатилетнему подполковнику – орденоносцу, начальнику химслужбы армии. По рекомендации своего университетского профессора будущий член-корреспондент АН СССР, директор-основатель Института химии Дальневосточного научного центра Ю.В. Гагаринский в 1946 году получает работу на созданной за год до этого «Базе номер девять». Потом это был «НИИ-9», а сейчас именуется «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов» (ВНИИНМ). Только узенькая полоска земли разделяет его с Институтом Курчатова. Эта дорожка и сейчас зовётся «проездом двух академиков» – И.В. Курчатова и А.А. Бочвара, разработчика металлургии плутония.

Теперь, читатель, попытайся заглянуть в этот мир моими юными глазами. Сначала три кордона автоматчиков. В школу нас возили через эти заборы и ворота на автобусе. Свидания с родственниками организовывались редко, чуть ли не раз в год, перед забором главной зоны. Внешне это выглядело, если ктопомнит, как «родительский день» в пионерском лагере.

Теперь жильё. Нам на четверых выделили комнатку, что было просто шикарно в послевоенных условиях. Правда, располагалась она в построенным за год до этого корпусе, ставшем основной исследовательской базой советской радиохимической промышленности (в Курчатовском жильё и лаборатории тоже сначала уживались в одном здании). Сейчас я с неподдельным интересом читаю научные статьи о разборке зданий ВНИИНМ и нуклидном составе вывозимых при этом радиоактивных отходов. Имею право утверждать, что вхожу в «передовой отряд» человечества, познакомившийся с рукотворной радиоактивностью. Понадобилось шесть лет, чтобы мы жили уже в полукилометре от нашего «НИИ-9» и в 100 метрах от Курчатовского института.

По коридорам этого «жилищно-лабораторного» корпуса почему-то имели право ходить и задумчивые военнопленные немцы, и советские ээки. Иногда они стучались в дверь и предлагали обменять какие-то поделки на еду. В конце 40-х годов немцев отпустили домой. Жили заключённые на той же территории нашей зоны, в небольшом лагере, отделённом от института забором с типичными вышками. Их круглые бараки на тогдашнем языке назывались «фанзами». Однажды я был разбужен треском ав-



Разборка исследовательского корпуса
ВНИИМ, 2015 год

томатных очередей. Выглянув в окно, увидел горящие «фанзы» и людей, пытавшихся прорваться через забор. От окна меня быстро отогнали. А вдоль забора этого лагеря вскоре начали бегать собаки.

О прозе жизни. Кажется, во вторую зону входил и высокий берег Москвы-реки, где сотрудникам выделялись делянки для посадки картошки. Относились к этому делу крайне серьёзно. С едой поначалу было неважко даже в атомном центре. С годами и два кордона, и картофельное поле исчезли, но это было потом.

Как я сейчас понимаю, основные льготы для работников «базы» состояли не столько в зарплате, сколько в возможности иногда (кажется, тоже раз в год) приобрести невероятный для той жизни дефицит: материю на одежду, чашки, тарелки. День их раздачи на «базе» всегда был ярким событием. Как и все, окружающие меня люди ждали ежегодного «сталинского снижения цен» и приникали к репродукторам, когда неповторимый голос Левитана долго перечислял: «то-то – на столько-то процентов». А когда он после слова «водка» делал знаменитую паузу, вся страна переставала дышать. Всё-таки послевоенную жизнь надо было чем-то скрашивать.

Теперь самое время вспомнить о духовном. В какой-то момент кому-то наверху пришла гениальная мысль. В бессмертной формуле «хлеба и зрелиц» объективный недостаток первого можно смягчить изрядной добавкой второго. Так появилось «трофейное» кино. На самом деле, собственно немецких фильмов там было мало (и правильно). В основном это был добротный Голливуд довоенной и военной поры. В нашу жизнь ворвался красавец Тарзан в исполнении олимпийского чемпиона по плаванию. Кое-что из того набора до сих пор появляется на федеральных каналах, например, наивная «Серенада солнечной долины» из-за изумительного джаза Гленна Миллера. А уж совсем серенькая «Сестра его дворецкого» до сих пор остаётся в новогодней «нарезке» из-за фантастических русских хитов не-подражаемой Дины Дурбин. Говорят, что это была одна из любимых лент сталинской фильмотеки.

К этому забавная история. На том же этаже, где мы жили, был «красный уголок» – небольшое помещение с крохотной сценой, на которой стоял стол, покрытый чем-то красным. А за ним – волшебный белый экран. И вот прошёл слух, что сегодня будут показывать трофейное кино. Нам, двум не самым умным, но по необходимости предприимчивым детям войны, пришла в голову смелая идея – спрятаться под сценой и дождаться, пока погасят свет. Сказано – сделано. В «красный уголок» пришли люди, кто-то сел за стол. Но свет не гасили, а просто говорили. Через какое-то время лежать под сценой стало невмоготу. Мы сделали единственно возможное – дружно заревели. Собрание – а оно, как мне потом рассказали, было сугубо закрытым и посвящённым повышению политической бдительности – пришлось прервать. Нас извлекли и идентифицировали. Досталось мне крепко, но отцу, боюсь, гораздо больше.

И ещё один сюжет, который почему-то всегда нравится слушателям. Мимо нас по низинке протекал ручеёк, берущий начало в Курчатовском институте и впадающий в Москву-реку. В самом низком месте образовался прудик – где-то между нынешними улицами Гамалеи и Рогова. В нём всегда была очень тёплая вода, и мои сверстники страшно любили там купаться. Отец мне категорически это запрещал, а его коллеги дружно этот запрет поддерживали. Но никто не объяснял, почему. Так что я непонятным табу, конечно, пренебрегал, и новые свидания с радиацией – теперь уже от реакторного источника – проходили регулярно. Кстати, эта вода течёт и сейчас, но она упранта в подземную, тщательно контролируемую трубу (имеющую благозвучное название «спецканализация»), откуда и попадает на станцию водоочистки на речном берегу.

О друзьях отца могу сказать, что это были страстно увлечённые своим делом люди. Я, естественно, слушал их разговоры (куда меня денешь), не понимая содержания. Но ясно чувствовал: то, что они делают, безумно важно и страшно интересно. Кстати, это отнюдь не значит, что остального мира для них не существовало. Помню, случайно проснувшись ночью, я увидел отца у трофейного «Телефункена». Голос с заметным акцентом вещал: «Страна, захватившая Латвию, Литву и Эстонию...». На естественный вопрос: «Пап, а что это за страна?» – я тогда ответа не получил.

Теперь я знаю, что лаборатория, в которой работал мой отец и которую впоследствии (в 1956 году) возглавил, занималась химией соединений урана, необходимых для разделения изотопов.

Я любил физику, и «окружающая среда» с неизбежностью привела меня в Московский инженерно-физический институт, причём я почему-то не сомневался, что дальше моя дорога – в Курчатовский, хотя распределение выпускников в те годы было весьма жёстким процессом. Впрочем, наша

фамилия была уже известна в отрасли. Так что летом 1961 года, увы, «разминувшись» с Игорем Васильевичем на год, я впервые вошёл в проходную Института атомной энергии им. И.В. Курчатова.

Те устройства, на которые привела меня работать судьба, составляют, может быть, самую удивительную часть огромного семейства ядерных реакторов. Они называются критическими сборками или реакторами нулевой мощности.

От «обычных» реакторов критсборки отличает ничтожный поток нейтронов и, соответственно, мощность, порой в доли ватта – по сравнению с миллиардом ватт большого энергетического реактора.

А тот объективный факт, что нейтронов в любом реакторе, как и в критсборке, на много порядков меньше, чем окружающих их ядер среды, позволяет им «не замечать друг друга», а значит многие важные характеристики реактора не зависят от его мощности и могут прекрасно исследоваться на критсборках. К тому же они, как отмечал ещё Курчатов, легко управляемы за счёт так называемых запаздывающих нейтронов.

Возможность при незначительном облучении буквально руками быстро создавать различные конфигурации активной зоны, моделируя будущую конструкцию реактора или ядерного взрывного устройства, и породила критические сборки. Такой «разведки боем» учёные пропустить просто не могли. Попробуйте представить, как состоялся запуск первой такой системы в нашей стране.

«В 14 ч. мы начали осторожный подъём кадмиевых стержней, сначала одного, а затем другого. Правый стержень извлекался порциями по 10–20 см, и производились замеры временной релаксации котла. Для этого левый кадмиевый стержень опускался в котёл, затем при фиксированном положении правого стержня левый быстро (в течение 2–3 с) вынимался из котла, после чего записывались показания камеры с течением времени, и результаты сразу же наносились на график.

Эта предпусковая предосторожность нам была необходима для того, чтобы «почувствовать» зависимость скорости разгона котла от положения стержня, так как хотя мы и были вооружены теоретическими знаниями кинетики котла, но уверенности в правильности теории у нас не было.

Кривая с экспоненциально растущей плотностью нейтронов была впервые получена в 18 ч. 25 декабря 1946 г., и это необходимо считать моментом, когда в СССР была впервые осуществлена саморазвивающаяся цепная ядерная реакция. В этот же день мы убедились, что котёл легко сделать работающим на любом постоянном уровне мощности... Мы достигали мощности от 0,1 до 100 Вт».

Как видите, Игорю Васильевичу и его команде понадобилось четыре часа, чтобы выполнить задачу, к которой он шёл годы – «зажечь» цепную реакцию в созданном им первом советском реакторе, который, при ничтожной мощности и возможности для человека находиться буквально рядом, был и первой критической сборкой.

Однако задачи, которые было необходимо решать на единственной тогда «критической сборке», требовали периодического выхода на «реакторный уровень» мощности. Опять-таки слово Курчатову:

«Начиная с 25 декабря работы на физическом котле велись круглосуточно и без выходных дней. Кроме пусков и компенсации котла для измерительных целей и физических опытов, котёл время от времени разгонялся до сравнительно больших мощностей, при которых блоки урана нагревались до 60–70°С. Развиваемая при этом котлом мощность достигала иногда 1000 кВт и более. Такие большие разгоны котла служили для накопления плутония в урановых блочках экспериментального туннеля и всего котла в целом, для производства биологических опытов, для испытания поведения материалов при большом их облучении радиацией котла, для изучения влияния температуры и т.п.».

Разумеется, тогда людей около реактора уже не было. Котёл управлялся дистанционно.

Таким образом, Ф-1 был и первой критической сборкой, и первым исследовательским реактором в СССР. Следует заметить, что критической сборкой был и первый реактор Э. Ферми CP-1, два месяца своей короткой жизни проработавший на мощности, не превышавшей 200 Вт.

Первая советская критическая сборка, не предназначавшаяся для выхода на большую мощность, была запущена также в Курчатовском институте в 1953 году. Тогда развернулись работы по созданию водо-водянного реактора для атомной подводной лодки. Требовались расчёты его активной зоны, так как без них проектирование невозможно. Экспериментальных результатов для водо-водянных сборок не было. Поэтому она и была создана.



Зал критических сборок морского направления

На этой сборке был проведён целый ряд экспериментов, об одном из которых, уникальном в мировой практике, стоит напомнить. Предоставим слово авторам этих опытов:

«Энергетический реактор работает при температуре около 300°C, а не на холодной воде. Поэтому встал вопрос о том, как смонтировать сборку с плотностью замедлителя по водороду 0,7–0,75 аналогичного значения для холодной воды. Выход был найден посредством применения сахарного песка (насыпного) в качестве замедлителя. Он имел плотность по водороду, близкую к 0,5 по отношению к холодной воде»*.

На заре ядерной эры критсборки были необходимы для создания и совершенствования ядерного оружия и военных реакторов, и остались таковыми, когда начали развиваться мирные реакторы. Они сохранились в арсенале учёных и сейчас, в век супермощных компьютеров и сверхточных программ реакторных расчётов. Эти программы, включающие тысячи известных с неизбежной погрешностью констант, всё равно нуждаются в подтверждении опытом.

Поэтому цепная реакция деления в самых различных размножающих средах реализовалась в мире несчётное число раз. Только в Курчатовском институте таких экспериментов было, по меньшей мере, несколько тысяч. Автору доводилось «рождаться» цепную реакцию до десятка раз за шестичасовой (во «вредных условиях труда») рабочий день.

Надо с сожалением сказать, что критсборка оказалась не только исключительно точным и полезным инструментом для создателей атомной техники, но и, на первом этапе развития, одним из самых опасных экспериментальных устройств, придуманных человеком (хотя в силу ничтожной «нормальной» мощности риску подвергался только персонал, работающий вблизи источника опасности). Первый известный в истории освоения ядерной энергии трагический случай произошёл в Лос-Аламосской лаборатории в США в июне 1945 года. Пик аварийных ситуаций пришёлся на 1960-е годы, период широкого развёртывания ядерных исследований. В 1971 году эта беда не прошла мимо и Курчатовского института. В последующем накапливался опыт, стало обязательным требование дистанционно и за щитой проводить наиболее опасные операции. Аварийность критсборок сошла на нет.

Из собственной практики запомнились критсборки, где не добавление, а удаление урана приводило к опасному всплеску мощности. Были и такие,

* Г.А. Гладков, Ю.В. Никольский. Первые водяные критические сборки СССР. «Атомная энергия». – 2001 – Т. 90 – Вып. 2 – С. 88–90.

где просто приближение к маленькому реактору опасно увеличивало поток нейтронов за счёт их отражения от человека обратно в активную зону.

Уже на пике популярности экспериментов на критических сборках, пришедшемся на конец 60-х – начало 70-х годов XX века, энтузиасты этой профессии, прежде всего в странах-родоначальниках «ядерной эры» – США и СССР, начали мечтать об общедоступном банке данных хорошо документированных опытов с ядерной критичностью. Это оплаченное дорогой ценой наследство человечества, казалось, было обречено пылиться на охраняемых полках секретных лабораторий, ведь большинство опытов относилось к сфере военного атома.

Надо честно сказать, что прорыв удалось осуществить в одной из самых военных лабораторий – Айдахо (США), где был организован международный проект по отбору, оценке и тщательному описанию результатов тысяч опытов по ядерной критичности.

Сегодня международный банк «бенчмарк» (особо точных и хорошо документированных) экспериментов по ядерной критичности – это огромный массив данных о более чем пяти тысячах критических опытов, в который вложились два десятка стран. У нас в нём второе место (после США). Среди этих опытов много интересного – совместные работы совет-



Конгрессмены США и специалисты Лаборатории Айдахо
на стенде в Курчатовском институте



Критический стенд направления ВВЭР
(справа – модернизированный пульт управления)

ских специалистов с европейскими коллегами на критических сборках в Венгрии и Чехословакии, и даже более десятка российско-американских экспериментов, выполненных на стендах Курчатовского и Физико-энергетического институтов.

Автор не без гордости замечает, что около полусотни критических конфигураций, содержащихся в мировом банке, получены под его руководством или с его участием.

Сегодня одиннадцать действующих критических стендов Курчатовского института – это половина того парка, которым располагает наша страна. Будь то наземные, морские или космические реакторы – нет такого направления в реакторостроении, где не нужны критические сборки. Практически все описанные в последующих главах попытки «проникнуть в неизведенное» без них не обходились.

НЕСКОЛЬКО РОЖДЕНИЙ АТОМНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Можно отмечать несколько разных дней рождения электричества, полученного от ядерного реактора. Когда в городе Обнинске 26 июня 1954 года был синхронизирован с сетью Мосэнерго генератор первой в мире атомной электростанции, наши американские «друзья-соперники» отнеслись к этому событию с понятной ревностью. Они опоздали всего на год, но дело было не только в этом.

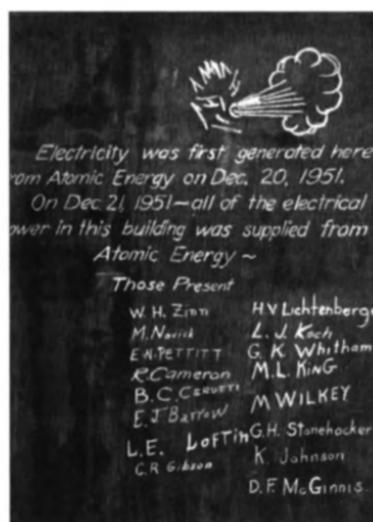
Уже в новом веке дотошные американские историки науки, покопавшись в архивах, отыскали в них эксперимент, проведённый ещё в сентябре 1948 года в Ок-Ридже на графитовом реакторе X-10, кстати, первом, запущенном ещё в 1943 году, американском аппарате ненулевой мощности, производившем плутоний. На этом реакторе, мощность которого была тогда 1000 кВт (потом она была значительно повышена), исследователи поместили в поток охлаждающего воздуха миниатюрный электрогенератор с лампочкой от карманного фонаря мощностью в треть ватта. Читатели при желании могут сосчитать «коэффициент полезного действия» первого преобразователя ядерной энергии в электричество. Но это была действительно демонстрация возможности производить электрическую энергию на ядерных реакторах.

Интересно, что нечто подобное тогда же мог сделать И. В. Курчатов с сотрудниками. Именно в 1948 году на Урале был запущен мощный уран-графитовый реактор-наработчик плутония (100 МВт). Но вряд ли кому-либо в нашей стране тогда приходило в голову развлекаться подобным образом.

Однако и сами американцы, а за ними и весь мир, признают рождением атомного электричества совсем другое событие, состоявшееся на экспериментальном реакторе-бридере EBR-тепловой мощностью 1,1 МВт. В декабре 1951 года к реактору была подсоединенна небольшая турбина и зажжены четыре электрические лампы по 200 ватт каждая. Вскоре после этого электрическая мощность была доведена до 100 кВт, и от реактора стало питаться всё оборудование здания.

В советской ядерной истории принципиальное событие произошло годом раньше. Давайте мысленно вернёмся в май 1950 года. Страна только вставала из руин страшной войны. Новая угроза – американский ядерный диктат – потребовала решительных действий руководства СССР. Гений советских учёных и инженеров при блестящей помощи разведки, сэкономившей важнейший ресурс – время, позволил быстро решить главную задачу – разработать и испытать советское ядерное оружие. Но создание ядерного щита было ещё впереди и требовало полного напряжения сил и развертывания огромного по масштабам и доселе не существовавшего производства. Именно тогда, 15 мая, всего немногим более полугода после испытания первой советской атомной бомбы, руководителю страны кладётся на стол совершенно секретный («особая папка») документ, теперь уже опубликованный в многотомной истории «Атомного проекта СССР».

Председатель Специального комитета Л. Берия представил на утверждение проект «Постановления СМ СССР о плане научно-исследовательских, проектных и экспериментальных работ по использованию атомной



Атомное электричество на реакторе EBR, декабрь 1951 г.

энергии в мирных целях (выделено автором). В сопроводительном письме исключительно чётко ставятся задачи, которые надо решить, чтобы на основе опыта реакторов-наработчиков плутония создать мирную ядерную энергетику. Перед вами выдержки из этого письма:

«Атомные котлы, предназначенные для получения плутония, в процессе производства выделяют значительное количество тепла...

Однако это большое количество тепла, образующееся в конструкциях действующих атомных котлов, не может быть использовано для получения механической или электрической энергии, ввиду того что из котла оно отводится с охлаждающей водой при температуре не выше 60–70°C, т.е. значительно ниже той температуры (200–300°C), которая необходима для энергетических установок.

На существующих агрегатах эта задача не может быть решена. Проведённые лабораторией акад. Курчатова расчёты показывают, что в атомных агрегатах для энергетических целей напряжённость ядерной реакции в урановых блоках будет в 20-30 раз превышать напряжённость ядерной реакции действующих агрегатов.

При такой высокой интенсивности ядерных излучений в урановых блоках, в конструктивных материалах высокотемпературных атомных агрегатов будут происходить глубокие превращения, которые не могут выдержать действующие у нас атомные агрегаты...

Повышение живучести урановых блоков является технически сложной проблемой и требует длительной и кропотливой работы.

Вторым, не менее сложным вопросом проблемы является изыскание материалов для подверженных тепловому напряжению узлов атомного котла и прежде всего, для технологических каналов, в которых облучаются урановые блочки...

Работа по изысканию новых высокостойких материалов для высокотемпературных котлов, как показывают проведённые исследования, потребует длительного времени.

Третья трудность создания атомных агрегатов для энергетических целей заключается в необходимости накопления больших количеств урана, обогащённого изотопом-235.

Подсчёты показывают, что потребность атомного агрегата для силовой установки мощностью 50 тыс. кВт выразится в течение года в количестве до 20 000 кг урана, обогащённого до 3 % изотопом-235.

Получение такого количества обогащённого урана является весьма сложным делом, если учесть, что одно атомное предприятие в составе 1 700 крупных диффузионных машин в течение года может производить только 12 000 кг урана с таким обогащением.

Представляемый Специальным комитетом проект решения предусматривает в качестве главных задач научно-исследовательских и экспериментальных работ в области использования атомной энергии для силовых установок на 1950–1951 гг. разработку конструкций трёх новых типов высокотемпературных опытных агрегатов, работающих на обогащённом уране, и разработку, применительно к этим агрегатам, опытных паросиловых установок.

Создание таких опытных установок необходимо для решения указанных выше сложных по новизне и технически трудных проблем разработки энергетических атомных установок».

Читатель, наверное, сумеет догадаться, кто был автором этого исторического документа. Собственно, он там назван, как и лаборатория, где родилась идея мирной атомной энергетики.

На следующий день, 16 мая (так тогда работали), Постановление СМ СССР №2030-788 с/оп «О научно-исследовательских, проектных и экспериментальных работах по использованию атомной энергии для мирных целей» было подписано И. Сталиным.

Постановление предписывало построить в Лаборатории «В» (ныне Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского) и уже в 1951 году ввести в строй опытную энергетическую установку мощностью на паровой турбине 5 тыс. кВт с тремя реакторами: уран-графитовыми с водяным и газовым охлаждением и уран-бериллиевым, охлаждаемым газом или расплавленным металлом.

Так быстро, теми же темпами, какими создавалось ядерное оружие, решить задачу не удалось. Как и предвидел Курчатов, требования к реактору для мирной энергетики выполнить оказалось нелегко. От первоначальных идей быстро остался только агрегат с графитовым замедлителем и водяным теплоносителем, по которому имелся технологический задел, к тому же такое решение опиралось на опыт «обычной котельной практики», что подчёркивал, отстаивая именно его, И.В. Курчатов^{*}.

Тем не менее, когда 34-й президент США Д. Эйзенхаузер в декабре 1953 года с трибуны ООН призвал человечество к мирному использованию атомной энергии («Мирная энергетика не является лишь мечтой о будущем. Возможность её создания... существует уже сегодня»), в СССР уже вовсю шла подготовка к пуску первой в мире атомной электростанции.

* А.Ю. Гагаринский, Е.Б. Яшина. Курчатовские реакторы. – М: НИЦ «Курчатовский институт», 2017.



Первая в мире АЭС в г. Обнинске

Наши американские коллеги, когда пишут атомную историю*, называют нашу станцию «первым ядерным реактором, поставляющим электричество в сеть», хотя в этом, собственно, и состоит задача электростанции. Им такое удалось годом позже – в июле 1955 года с помощью реактора BORAX-III с кипящей водой мощностью 2000 кВт(э). В американской печати того времени маленький городок Арко в штате Айдахо был назван «первым городом США и, возможно, всего свободного мира, получившим электричество с помощью атомной энергии». Это может быть правдой, так как городок по своим скромным масштабам был способен полностью перейти на атомное электроснабжение такой мощности. Впрочем, американские историки атомной техники признались, что это было возможно только ночью, и то на час-полтора. Тем не менее через несколько недель США с большой помпой подали это событие в ООН. Соревнование в мирном использовании атомной энергии принимало порой острые формы.

Атомная электростанция уже значительных масштабов была запущена ещё через год в Западной Европе. Это английская Колдер-Холл мощностью 50 МВт(э). И если руководители Советского Союза и США пуски своих первых АЭС не посетили, то английская королева Елизавета II такого случая не упустила. Британцы помнят об этом до сих пор.

*Gail H. Marcus, Nuclear Firsts. Milestones on the Road to Nuclear Power Development. American Nuclear Society, IL, USA, 2010.

В нашей стране после пуска первой демонстрационной АЭС в Обнинске началось время трудной борьбы И.В. Курчатова и его соратников за создание отечественной ядерной энергетики. Если не считать так называемой Сибирской АЭС (о ней – в другой главе), а это был отбор тепла и электричества от реакторов-наработчиков оружейного плутония, первый блок АЭС промышленного масштаба – 100-мегаваттный водоохлаждаемый графитовый реактор АМБ – был запущен только через 10 лет после первой АЭС.

Началось победное шествие атомного электричества по странам и континентам. Например, с 1971 по 1986 год производство ядерной энергии в мире выросло в пятнадцать раз – так же, как на 30 лет позже за те же 15 лет (с 2001 по 2016 г.) выросло производство энергии ветра и солнца. Сейчас это называют «эффектом низкой базы». Но это уже, как говорится, совсем другая история.

АТОМНЫЕ САМОЛЁТЫ ВСЁ-ТАКИ ЛЕТАЛИ

Едва успев утвердиться на земле и примериться к океанским глубинам (об этом немного позже), ядерные реакторы устремились ввысь. Первая американская программа «Nuclear Energy for the Propulsion of Aircraft» («Ядерная энергия для движения самолёта») датирована 1946 годом. Её целью было создание атомного самолёта для военно-воздушных сил.

Состояние дел на пути реакторов за пределы Земли хорошо известно. Гордая мечта о ядерных ракетных двигателях, доставляющих людей на другие планеты, пока ещё осталась на «листе ожидания». Однако десятки испытаний прототипов полноразмерных реакторов для ЯРД в США и СССР, где советские специалисты установили рекорд достигнутой температуры выбрасываемого водорода в 3000 К, не оставили сомнений в возможности создания ядерной космической ракеты*. Просто время пилотируемых полётов в дальний космос ещё не пришло.

Востребованным применением ядерной энергии стало энергетическое снабжение космических аппаратов. Ближний космос уже освоен спутниками с ядерной энергетикой. Начало было положено почти одновременно в США и СССР в конце 1950-х годов. Было необходимо обеспечить спутники разведки работоспособными бортовыми источниками энергии. В мае 1965 года NASA вывело на орбиту первый спутник с ядерным реактором,

* Н.Е. Кухаркин, В.М. Кулыгин, В.А. Павшук. Курчатовский институт – воздушно-космическому флоту страны. – М: НИЦ «Курчатовский институт», 2018.

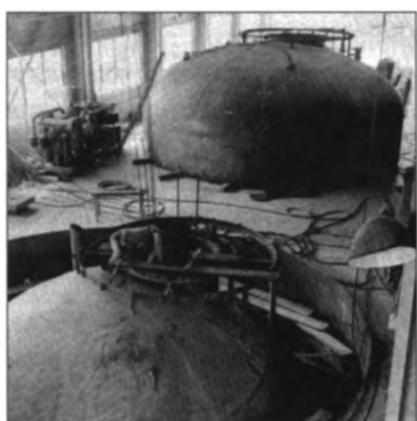
названный SNAP-10A («вспомогательный космический ядерный источник энергии»). Предназначенный для годичной работы, он выключился через 43 дня и был отправлен на высокую орбиту, где будет оставаться 4000 лет. Соответствующая американская программа была закрыта.

Советские спутники с термоэлектрическими, а затем термоэмиссионными ядерными реакторами прямого преобразования энергии с начала 1970-х годов широко использовались на околоземных орbitах в составе аппаратов серии «Космос». Это были десятки спутников радиолокационной разведки. Направление продолжает развиваться, и вряд ли к этому есть серьёзные препятствия.

«Младший брат» ядерных реакторов – радиоизотопный источник энергии, использующий радиоактивный распад для получения электричества, оказался незаменимым при длительных полётах необслуживаемых космических аппаратов в дальний космос. Американцы впервые использовали такой генератор в 1961 году для навигационного спутника. В СССР изотопные источники энергии работали на советских космических аппаратах «Космос», а также на луноходах. При неизбежно небольшой мощности фантастический ресурс этих энергоисточников позволил землянам исследовать окрестности Марса, Юпитера, Сатурна и Плутона. Экспедиция межпланетного зонда «Кассини» к Сатурну длилась почти два десятилетия. В её ходе не прекращалась связь с Землёй, было преодолено 3,5 миллиарда километров и открыто восемь новых лун планеты-гиганта, в том числе пригодных для зарождения жизни.

Однако у самой «приземлённой» идеи – атомного самолёта – оказалась другая судьба. То, с чего всё начиналось, создать до сих пор не удалось. Вот на этом остановимся подробнее. Как уже было сказано, первыми за

создание самолёта на атомной тяге взялись американцы. Наземный прототип реактора для этой цели, построенный в Ок-Ридже, назывался «Aircraft Reactor Experiment» («реакторный эксперимент для самолёта») и в качестве ядерного топлива использовал расплав фторидов натрия, циркония и урана, что, возможно, удивит не знавших эту историю специалистов. Реактор достиг критичности в конце 1954 года, проработал в разных экспериментальных режимах всего несколько дней, достигнув в пике мощности температуры 880°C. Интересно, что



Строительство ARE в Ок-Ридже

на пуске присутствовал тогда ещё капитан Хайман Риккер, будущий отец атомного флота США, причём в то самое время, когда его «Наутилус» интенсивно готовился к первому выходу в море.

Исследования по программе ANP («ядерные двигатели для самолёта»), продвигаемой совместно Комиссией по атомной энергии и военно-воздушными силами США, велись широким фронтом, но после эксперимента в Ок-Ридже переместились в Национальную лабораторию Айдахо.

С 1956 года там была проведена серия наземных испытаний реакторов для самолёта. Первые два (они назывались HTRE – «реакторный эксперимент по передаче тепла») представляли собой огромные, пятидесятитонные конструкции с турбореактивным двигателем и ядерным реактором, располагавшимися на железнодорожной платформе для доставки из сборочного цеха к месту испытаний. В реакторах HTRE воздух нагревался до более 900°C, замедлителем сначала служила вода, а затем гидрид циркония (десятью годами позже автору довелось ставить эксперименты с этим замечательным замедлителем). Последний вариант установки, HTRE-3, по габаритам уже вписывался в авиационный двигатель. Он был запущен и успешно испытан в 1959 году. Казалось, программа создания атомного самолёта близится к успеху.

Однако американцы остановились. В 1961 году президент Джон Кеннеди закрыл программу атомолёта, хотя уходящая администрация Эйзенхауэра предполагала только заморозить её. «На попытку создания самолёта с ядерной силовой установкой было потрачено более пятнадцати лет и миллиард долларов. Но возможность применения такого самолёта в ВВС в обозримом будущем представляется весьма неясной», – так звучала эпитафия. Межконтинентальные баллистические ракеты обещали стать более надёжным и дешёвым способом доставки ядерных боеприпасов, чем бомбардировщики, а дозаправка в воздухе сводила на нет преимущества атомного двигателя.

Решая задачу создания средств доставки ядерного оружия, руководители советского «Атомного проекта», разумеется, не могли пройти мимо идеи атомного самолёта. В апреле 1947 года И.В. Курчатов писал руководству страны: «По уровню имеющихся у нас знаний в настоящее время



HTRE-2 и -3

уже возможно приступить к разработке перспективных проектов электростанций, самолётов и морских судов с использованием энергии ядерных реакций, проектные работы необходимо начать в этом году». Реально до атомного самолёта дело дошло уже в 1950-х годах. Основополагающие отчёты Лаборатории измерительных приборов (ныне Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»), на которых стоят утверждающие подписи И.В. Курчатова и А.П. Александрова, «О возможности создания сверхзвукового самолёта-снаряда дальнего действия с ядерным прямоточным воздухо-реактивным двигателем» и «О возможности создания сверхзвукового бомбардировщика с ядерным турбореактивным двигателем», выпущены в 1954 и 1955 годах.

Создание советского бомбардировщика с атомными двигателями было поручено конструкторскому бюро В.М. Мясищева. Получивший название М-60 проект базировался на сверхзвуковом бомбардировщике М-50 («Bounder» по классификации НАТО). Работы были доведены до проекта самолёта с нагревом воздуха в высокотемпературном керамическом реакторе и подготовки создания наземного стенда в Красноярске-26 для испытаний атомных авиационных двигателей. Но эти испытания так и не состоялись, хотя отдельные элементы реактора (например, физическая защита) испытывались в исследовательских реакторах. Всемирно известный реактор-преобразователь Курчатовского института, «Ромашка» (1964 год), был наземным прототипом уже ядерной энергетической установки для спутника Земли. Программа создания атомного самолёта в СССР была остановлена в середине 1960-х годов.

Однако атомные самолёты в США и СССР всё-таки летали. Было очевидно, что одной из основных трудностей создания самолёта являлась разработка

кабины экипажа с защитой от излучения реактора. Для этого BBC США ещё в начале программы ANP начали полёты на созданной модификации бомбардировщика B-36 с ядерным реактором ASTR («реактор для испытания защиты самолёта») мощностью 1 МВт и 12-тонной защитной капсулой. Этот самолёт, получивший название «The Crusader» («Крестоносец»), в период с 1955 по 1957 год совершил в общей сложности 47 вылетов. Утверждают, что рядом всегда летел транспортный



NB-36H «Крестоносец»

самолёт с командой парашютистов, готовых в случае аварии оцепить место падения. Возможно, это только легенда, но она оченьозвучна духу того времени.

Характерный пример тогдашнего атомного противостояния: об этих полётах очень скоро стало известно советскому руководству. По воспоминаниям В.И. Меркина, одного из ближайших соратников И.В. Курчатова, в конце декабря 1955 года его срочно вызвал Игорь

Васильевич и сообщил о полётах в США самолёта с ядерным реактором на борту. Быстро разобрались, что это не самолёт с ядерным двигателем. Уже вскоре Курчатов отвёз В.И. Меркина к А.Н. Туполеву, где договорился о летающей атомной лаборатории для проведения широкой программы исследований. Туполев предложил дооборудовать все необходимым свой лучший тяжёлый бомбардировщик Ту-95.

Источником излучения был выбран водо-водянной реактор ВВР мощностью 100 кВт, уже продемонстрировавший свои достоинства на площадке Курчатовского института. Испытательные полёты Ту-95 ЛАЛ, для участников работ ставшего «ласточкой», начались в 1961 году и продолжались в 1962 году. Всего их было 36 (обошлось без «парашютистов сопровождения»). Результатом стало изучение закономерностей рассеяния излучений воздухом, землёй и конструкциями самолёта, медико-биологические исследования синергетического воздействия реактора, шума и вибрации полёта, анализ устойчивости радиосвязи в условиях реакторных излучений. Всё это легло в копилку будущей ядерной космонавтики.

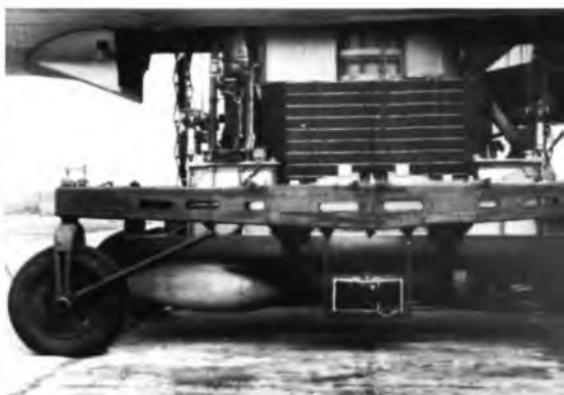
Однако на этом история атомолётов пока что остановилась. Самолёт с неограниченной дальностью полёта, для которого, как шутили разработчики, «Земля мала», создать не удалось. В качестве главной причины называют отсутствие путей решения проблемы безопасности при падении и тяжёлых авариях. Конечно, в прессе времена от времени мелькает информация о продолжении подобных попыток. Уже в этом веке сообщалось о разработке в США атомного двигателя для беспилотного самолёта-разведчика с продолжительностью полёта до нескольких месяцев. Реакторы на расплавах солей, которые сооружаются в китайской пустыне Гоби, по мнению учёных, открывают путь для создания силовых установок не только для кораблей, но и для беспилотных летательных аппаратов.



Ту-95



Реактор ASTR (США)



Реактор ЛАЛ (СССР)

Тем не менее вопрос о новом витке спирали развития самолётов с атомными двигателями остаётся открытым. На нынешнем уровне знаний, опыта и при наличии новых реакторных материалов, вряд ли кто-либо из специалистов будет сомневаться в возможности создания компактной и дешёвой ядерной установки для самолёта или даже дирижабля. Менее очевидно, но всё-таки возможно представить создание для такой установки защитной оболочки, гарантирующей невыход за её пределы радиоактивности при любых авариях на земле и в воздухе. Сумело же NASA убедить своих сограждан, устраивавших митинги на мысе Канаверал и даже шествия перед Белым домом против запуска «Кассини», что иридиево-графитовая капсула с плутонием способна противостоять любой аварии при возможном падении аппарата на Землю.

Уйдём от военных применений. Сегодняшнее фантастическое развитие гражданской авиации можно обрисовать несколькими фактами. Каждый день в мире выполняется более 100 тысяч авиарейсов. Годичный объём перевозок (в любимых авиаторами единицах) составляет 7 трлн пассажиро-километров и 200 млрд тонно-километров грузов. Выручка авиакомпаний – порядка 1% суммарного ВВП планеты. Но всё это обеспечивается ежегодным сжиганием 300 млн. тонн керосина. Летать и перевозить по воздуху грузы люди не прекратят, но загрязнение атмосферы продуктами сгорания когда-нибудь перестанут считать приемлемым. Так что «второе пришествие» атомного самолёта, хотя бы для грузовых перевозок, теоретически не запрещено.

«СТРОИТЬ И ЖИТЬ ПОМОГАЕТ» ЯДЕРНЫЙ ВЗРЫВ

Сегодня об этом можно говорить только в прошедшем времени. Подземные ядерные взрывы перестали помогать строить и жить в конце 80-х годов прошлого века, когда была остановлена советская программа использования ядерных взрывов в мирных целях. Американцы аналогичную программу с характерным названием «Ploughshare» («Плуг») свернули пятнадцатью годами ранее.

Причиной были не технологические недостатки. В отечественной литературе описаны неудачи нескольких (два с половиной процента от общего числа) аварийных взрывов, когда была зафиксирована существенная утечка радиоактивных продуктов. Их описание и результаты ликвидации последствий показывают, что очаговые загрязнения большого ущерба не нанесли. Пожалуй, наиболее значимым в общественном сознании был неудачный подземный ядерный взрыв, проведённый в 1972 году в густонаселённой Харьковской области. Его решились использовать для закрытия аварийного газового выброса, который не удавалось ликвидировать никакими известными способами. Говорят, что постановление о применении промышленного ядерного взрыва было подписано лично Леонидом Ильичом Брежневым. Положительный опыт «ядерного тушения» газового фонтана в Узбекистане к тому времени уже был. Ликвидировать газовый выброс четырёхкилотонным ядерным зарядом на Украине не смогли. Только ещё через год газовую скважину раскопали и сумели залить жидким бетоном.

Надо добавить, что 95% мирных ядерных взрывов проводились вне границ атомных полигонов. Ближайший к Москве такой взрыв был произведен в Ивановской области. Кстати, он тоже был аварийным. И вообще, большинство (80) взрывов было осуществлено в России, в Казахстане – вдвое меньше. Проводились они также в Узбекистане, на Украине и в Туркмении.

При не таких уж неприемлемых и вполне устранимых недостатках взрывных технологий, давайте признаем их огромные возможности. Какие амбициозные проекты только не предлагались: соединение Мёртвого моря с Красным или Средиземным, второй Панамский канал, канал через полуостров Малакка в Юго-Восточной Азии, обводнение впадины Каттара в Египте и многое, многое другое. В реальности ядерные взрывы в народном хозяйстве использовали практически только в СССР.

По свидетельству ветерана этого направления В.И. Жучихина^{*}, идея использования ядерных взрывов для решения народно-хозяйственных задач была высказана И.В. Курчатовым «в сентябре 1951 года при обсуждении результатов успешного испытания модернизированного варианта первой атомной бомбы. Игорь Васильевич сказал буквально следующее:

«Ребята, видите, какая силища, создаваемая атомом, расходуется зря. Ведь в военных целях вряд ли она когда-нибудь будет применена. А над её применением в мирных целях следует задуматься всерьёз. Ведь сколько проблем в народном хозяйстве, которые с помощью атомных взрывов с большим эффектом можно решить... воспользовавшись такой огромной силой, как атомный взрыв».

Среди «океана возможностей», достижимых ядерными взрывами, один из создателей советского ядерного оружия академик Е.Н. Аврорин выделял глубинное сейсмическое зондирование. По его данным, после почти четырёх десятков (это 30% от общего количества) камуфлетных ядерных взрывов, то есть без образования воронки и выхода газообразных продуктов, был получен огромный экономический выигрыш от снижения объёма геологоразведочных работ в десятки раз. Вот интересные примеры. Только ядерные взрывы позволили определить глубину заполненной соляными отложениями прикаспийской впадины и наличие под ними скоплений углеводородов, что впоследствии подтвердилось. Проведённое сейсмическое зондирование в Казахстане и Узбекистане дало основание предполагать большие залежи углеводородов в Ферганской долине, на что тогда многие смотрели скептически, но спустя 18 лет прогнозы подтвердились мощными фонтанами нефти.

*В.И. Жучихин. Подземные ядерные взрывы в мирных целях. РФЯЦ-ВНИИТФ, 2007.

Ядерным взрывом в соляном массиве была создана подземная ёмкость объёмом около 150 тысяч кубометров (для подобных задач предназначалось 20% мирных взрывов*). Была проведена серия взрывов для интенсификации добычи нефти. Проводились взрывы для создания набросных плотин. К этому следует добавить создание гаваней и каналов, уже упоминавшееся перекрытие газовых фонтанов, создание искусственных водоёмов и т.д., и т.п. Часть из этого была реализована, часть осталась в планах и намерениях.

Люди науки должны согласиться с тем же академиком Аврориным, что ядерные взрывы дают уникальные возможности для

фундаментальных исследований поглощения энергии веществом при её плотности на 6–7 порядков выше, чем при химическом взрыве, то есть близко к астрофизическим условиям. Такие исследования при давлении до миллиарда атмосфер проводили оба советских ядерных центра (в Сарове и Снежинске). Не забудем и о давней мечте ядерщиков – получать с помощью ядерных взрывов новые, в том числе делящиеся, изотопы. В экспериментах так были получены фермий и эйнштейний. Гигантские потоки нейтронов (10^{24} – 10^{25} нейтронов на $\text{см}^2\cdot\text{с}$) позволяют эффективно производить ядерное горючее из сырьевых материалов. Как сообщается в только что процитированной книге, в 1974 году в СССР на глубине 1000 м был проведён ядерный взрыв с целью получения плутония. Наработка составила 15 кг Pu-239. Эти возможности взрывной технологии тоже ушли «в запас».

На этом месте «вернёмся немного назад» по шкале интенсивности ядерных вспышек. Стремление к созданию всё более мощных инструментов для исследования физики ядерных реакторов и изучения воздействия излучений на вещество (в том числе и для испытаний оборонной техники) привело к созданию импульсных реакторов, в которых научились созда-



Подземный ядерный взрыв с частичным выбросом в атмосферу

* А. Васильев, Ю. Дубаев и др. Ядерные взрывные технологии: эксперименты и промышленное применение. Снежинск, 2017.

вать повторяющиеся и, конечно, контролируемые вспышки деления ядер. Предельные возможности по выделяемой в импульсе энергии, достигаемому потоку излучений удалось реализовать в импульсных реакторах, которые их создатели назвали «апериодическими» или «самогасящимися». В них вспышка, вызванная быстрым переводом реактора в сильно надкритическое состояние, затем гасится за счёт «внутренне присущих» отрицательных обратных связей. Тем, кому это интересно в деталях, можно рекомендовать фундаментальный труд В.Ф. Колесова*. Здесь же ограничимся упоминанием о двух самых мощных аппаратах этого семейства, практически одновременно запущенных на рубеже 1950–60-х годов.

Реакторы TREAT (США) и ИГР (СССР) – импульсные реакторы с диспергированным в графите топливом. Максимальные параметры были достигнуты в ИГР, в том энерговыделение за импульс – более 5000 МДж. Эту величину стоит оценить. Примерно столько энергии поставляют в сеть за время импульса ИГР все АЭС Франции. Интересно, что после 23-летнего перерыва Министерство энергетики США в 2018 году восстановило эксперименты на реакторе TREAT, поскольку лучшего инструмента для изучения характеристик топлива в экстремальных условиях и моделирования аварий в стране нет. А в нашей стране, увы, нет реактора ИГР – он «остался» в Казахстане.

Здесь мы возвращаемся к основной теме. Уже мало кто помнит, что мощные реакторы, после гигантских вспышек всё же сохраняющие свою целостность, не удовлетворили «аппетиты» исследователей. Им стало ясно, что свойства физических процессов в ядерных реакторах при экстремальных условиях не всегда экстраполируются из области «управляемых вспышек». Возникла и была реализована парадоксальная идея – чтобы понять, как сделать реактор безопасным, его необходимо взорвать! Такие опыты называли «преднамеренными разрушительными испытаниями». Первым в 1954 году сознательно взорвали BORAX-1 (реактор с кипящей водой мощностью 1,4 МВт(т)), построенный на испытательном полигоне в Айдахо. Приведём характеристики этого исторического эксперимента. Разгон с периодом 2,6 миллисекунды и пиком мощности 19 ГВт разбросал фрагменты топлива на 60 метров.

Американские исследователи позволили себе ещё четыре деструктивных испытания с различными типами реакторов. Автору, экспериментировавшему с гидридом циркония, был особенно интересен опыт SNAPTRAN, когда моделировалось быстрое погружение в воду уже упоминавшегося космического реактора с гидрид-циркониевым замедлителем SNAP10-A. Кстати, он дал необходимую информацию для обоснования

* В.Ф. Колесов. Апериодические импульсные реакторы. – Саров: РФЯЦ-НИИЭФ, 1999.

высокого уровня безопасности исследовательского реактора TRIGA, ставшего самым распространённым в мире (к нему мы ещё вернёмся).

Последним и самым мощным был эксперимент KIWI-TNT с активной зоной реактора космического двигателя, позволивший получить информацию о поведении ядерной ракетной установки при возможном стартовом инциденте. Конечно, ядерный реактор нельзя взорвать как атомную бомбу – принципиально не та скорость перехода в надкритическое состояние. Это сравнение остаётся художественным приёмом для журналистов. Достигнутое энерговыделение около 9000 МДж (за импульс шириной 0,6 миллисекунд) было ещё на несколько порядков ниже «скромного» ядерного взрыва, но оказалось достаточным, чтобы считать программу разрушительных испытаний завершённой.

Когда автор в начале 1980-х годов в обзоре физических механизмов ограничения мощности реактора приводил результаты деструктивных экспериментов (до сих пор бережно храню эту, одну из первых «открытых», работу – небольшой препринт ИАЭ 1983 года, «Температурные эффекты в ядерных реакторах»), он не имел права знать, что в нашей стране такие эксперименты тоже проводились.

Недавно были опубликованы данные о выполненных в советском ядерном центре в Сарове (ныне Всероссийской научно-исследовательский институт экспериментальной физики) именно в 1980-х годах экспериментах по «запланированному» разрушению реактора с металлической активной зоной (в американском списке таких активных зон нет). Для этой цели был специально спроектирован «разрушающийся импульсный реактор» (РИР) и взрывозащитная камера. Были проведены два деструктивных испытания, продемонстрировавшие уникальные результаты, прежде всего по ширине импульса (около 2 микросекунд). Как считают авторы, этого уже достаточ-



Деструктивные испытания реактора
BORAX-1, 1954 год

но для моделирования так называемых «реактивностных аварий» с разгоном реактора на мгновенных нейтронах. Как и в случае американских опытов, полученная информация до сих пор не теряет актуальности.

Теперь вернёмся к мирным ядерным взрывам. Первое подземное ядерное испытание было произведено на полигоне в Неваде в 1951 году, конечно, в интересах военных. Советский подземный взрыв на Семипалатинском полигоне состоялся десятью годами позже. Программа мирных ядерных взрывов в СССР проводилась с 1965 по 1988 год и включала 124 взрыва. Американский «плуг» был скромнее, около 30 взрывов было проведено с 1957 по 1973 год. Это при общем числе ядерных испытаний более тысячи, включая 24 совместных с Великобританией. Ведущие атомные эксперты вполне обоснованно говорят, что соревнование по мирному применению ядерных взрывов выиграла Россия.

Причина отказа от технологии мирных ядерных взрывов была чисто политической. Никто не был в состоянии доказать, что под мирные цели нельзя замаскировать испытания ядерного оружия. Каплей, переполнившей чашу, стал индийский «улыбающийся Будда» – подземный взрыв, произведённый в 1974 году. Правительство страны объявило его «мирным», но в мире он был признан подчинённым интересами военной ядерной программы. Вскоре после этого был подписан советско-американский договор о подземных ядерных взрывах, заметно ограничивший возможности ядерно-взрывных работ.

Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ) был принят юбилейной 50-й сессией Генеральной ассамблеи ООН и открыт для подписания в 1996 году. К концу 2018 года его подписали 183 государства. Последним в 2012 году не проводить ядерных взрывов обязалось, по-



Разрушающийся импульсный реактор и ампула для деструктивных испытаний (ВНИИЭФ, г. Саров).

видимому, мало знакомое читателям государство Ниуэ, остров в Тихом океане с населением около 2000 человек. Однако договор пока не может вступить в силу, так как для этого необходимы подписи 44-х определённых в нём стран, а три из них этого не делают. Список «отказников» понятен: Индия, Пакистан, КНДР. Кстати, подписавшие документ США и КНР пока его не ратифицировали. Российская Федерация сделала это ещё в 2000 году.

Стоит заметить, что предусмотрительные китайцы настояли на возможности вернуться к мирным взрывам через десять лет после вступления ДВЗЯИ в силу (кто знает, когда это случится). Для Китая это означает обладание эффективной технологией жизненно важного обводнения пустынных регионов северо-запада страны. О мирном ядерном взрыве всерьёз заговорили в 2010 году, когда разлив нефти в Мексиканском заливе угрожал всему южному побережью США. Когда в январе 2019 года начали взрывать созданную гигантским оползнем естественную плотину на реке Бурея, доставив туда по бездорожью более 500 тонн взрывчатки, тоже с «тихой грустью» вспомнили о «чистых» ядерных взрывах.

Объективно существуют и области общечеловеческой потребности в использовании технологии ядерного взрыва. Это признанный способ защиты от извержения вулканов. Ещё более активно обсуждается защита от планетарной опасности – астероидной атаки. Практически полный консенсус среди тех, кто это изучает – без ядерных зарядов Землю не защитить. Сообщается уже о конкретных проектах ядерного перехватчика астероидов.

Так что и в этой технологии, пограничной между мирными и военными задачами, «последняя песня», вполне возможно, ещё не спета.

КЕРОСИН В ЯДЕРНОМ РЕАКТОРЕ

Разговор, давший название этой главе, уже пересказан в моей книге «Люди и атом». Но здесь его вполне уместно повторить. Встретились два выдающихся курчатовца и, не обращая внимания на случайно оказавшегося в их компании молодого инженера, как и положено, вступили в дискуссию. Энтузиаст использования органики в ядерных реакторах и лидер этого направления в атомной технике страны Ю.Н. Алексенка напористо доказывал ближайшему соратнику Курчатова и «главному изобретателю» советских реакторов С.М. Фейнбергу перспективы органического теплоносителя даже для больших энергетических реакторов. И получил в ответ отточенную иронию всегда безукоризненно формулировавшего свою позицию Савелия Моисеевича: «Неужели Вы всерьёз думаете, Юра, что Вам позволят залить в РБМК керосин?»

Конечно, керосин здесь был «художественным преувеличением». Никто не собирался использовать в ядерных реакторах этот «светлый» продукт перегонки нефти с его склонностью к самовоспламенению. Другое дело – «ближайшие родственники» керосина – горючей смеси жидких углеводородов. Большое семейство высококипящей (более 250°C) органики: газоль, дитолилметан, терфенолы (список можно продолжать) – всё это жидкости, в которых более десятка атомов углерода соединены в сложные молекулы с соответствующим количеством атомов водорода. Они гораздо менее пожароопасны, чем керосин, и обладают свойствами, мимо которых создатели ядерных реакторов просто не могли пройти.

* А.Ю. Гагаринский. Люди и атом. – М: НИЦ «Курчатовский институт». Москва, 2018.

Главное достоинство – низкое давление паров насыщения при значительной температуре, позволяющее получить нужные характеристики преобразования ядерного тепла в пар при низком давлении в первом контуре, что, увы, невозможно, если теплоноситель – вода. К тому же химически инертная органика даёт простор для использования экономичных конструкционных материалов, например, дешёвых углеродистых сталей.

Начинали, как обычно, американцы. Ферми и Сциллард были первыми, кто ещё в 1944 году предложил использовать дифенил как теплоноситель и замедлитель в ядерном реакторе, и даже зарегистрировали патент. До реализации этой идеи «руки дошли» более чем через десять лет. В сентябре 1957 года на Национальной испытательной станции в Айдахо был начат реакторный эксперимент с органическим замедлителем (OMRE). Реактор проработал до 1963 года. По мнению создателей, он продемонстрировал технические достоинства новой реакторной технологии. В 1962 году на той же площадке, в качестве ожидаемого развития концепции, был построен экспериментальный органический реактор (EOCR) большей мощности (40 МВт). Однако Комиссия по атомной энергии США рассудила по-другому. Она не сочла проект принципиально лучшим по сравнению с другими альтернативами, быстро развивавшимися в то время (кипящие, с водой под давлением и др.). EOCR был «отправлен в запас» и так и не былпущен.

Советский ответ на очередной вызов был незамедлительным. Уже в 1960 году в Курчатовском институте в одном здании с первым экспериментальным ВВРом заработал созданный по проекту Ю.Н. Алексенко реактор ОР мощностью 300 кВт(т) с органическим теплоносителем.

На следующий этап – создание реактора, производящего электроэнергию, советские и американские разработчики вышли, что называется, «ноздря в ноздрю». Советский реактор АРБУС заработал в августе, а американский PIQUA – в ноябре 1963 года. Сначала завершим обзор событий на



Реактор ОР Курчатовского института с середины 1950-х годов переведён с органики на водный замедлитель

североамериканском континенте. Надо сказать, что если АРБУС был всё-таки экспериментальной установкой, работавшей в научно-исследовательском институте, то Piqua – демонстрационным, но подключённым к сети коммерческим реактором. Его электрической мощности 12 МВт было достаточно, чтобы давать 40% энергии городку Риуа в штате Огайо, что он и делал в течение немногим более трёх лет. Закончилось это главной бедой органического замедлителя-теплоносителя (это была смесь терфенилов) – его радиационно-термическим разложением (это называют «красивым» словом «фаулинг») и конденсацией твёрдых продуктов на поверхности тепловыделяющих элементов. На этом жизнь американского реактора завершилась.

Ещё одна подобная попытка была сделана в Канаде. Чтобы упростить конструкцию канадского тяжеловодного реактора CANDU, разработчики решили заменить тяжеловодный теплоноситель опять-таки смесью терфенилов, что обещало определённые преимущества (снижение веса конструкции, уменьшение коррозии и т.п.). Был спроектирован, построен и в 1965 году запущен исследовательский реактор WR-1 мощностью 60 МВт(э). Этот эксперимент с относительным успехом (два раза произошли существенные аварии) продолжался двадцать лет. Однако проектирование полномасштабного CANDU на основе этой концепции, было хотя и начато, но через пару лет закрыто.

Самым большим долгожителем среди реакторов с органическим теплоносителем оказался наш АРБУС, что расшифровывается как АРктическая Блочная Установка. Своим рождением он был обязан правительльному решению от 1962 года: создать блочную станцию тепловой мощностью 5 МВт и электрической – 750 кВт для размещения в Антарктиде. Американцы запустили на шестом континенте атомную станцию в 1966 году, мы собирались сделать это в 1965-м.

Установка была спроектирована в блочном исполнении. Отдельные блоки (всего их было девятнадцать, каждый не тяжелее 20 тонн) могли быть быстро доставлены на место, смонтированы и введены в строй. Скорость действий была такой, что одновременно изготавливались два комплекта – один для Научно-исследовательского института атомных реакторов, другой для Антарктиды. Пуск в НИИАРе состоялся в 1963 году, и сразу началась тяжёлая борьба с фаулингом применённого гидростабилизированного газоля. Установку перевели на другую органическую жидкость, и в таком виде она проработала до 1978 года.

К тому времени у советского руководства пропало желание строить реакторы в Антарктиде, тем более что и американцы свой давно разобрали. Однако АРБУС продолжил своё существование в новом качестве. Уже было

ясно, что для установки с малой электрической мощностью потребителя не находится, зато тепловая мощность привлекательна для удалённых районов Севера.

Установка АРБУС была реконструирована с переводом в режим выработки тепла. Она стала называться АРТУС-АСТ, её мощность форсировали до 12,5 МВт(т). На базе этого нового промышленного эксперимента был разработан проект атомной котельной АТУ-15 для золотого прииска «Многовершинный». Однако с повышением мощности скорость накопления в теплоносителе высокотемпературных продуктов резко возросла. Созданные разработчиками системы очистки с этими процессами неправлялись. В 1988 году работы были свёрнуты. Золотоискатели не дождались атомной котельной – хотя, похоже, не очень-то её и желали.

Вот, казалось бы, и всё. «Разведка боем» была вынуждена отступить перед превосходящими силами – в данном случае природой высокотемпературной органики. Но вот передо мной сравнительно свежая (2016 год) статья в авторитетном журнале «Nuclear Engineering & Technology», написанная представителями двух уважаемых научных организаций США: Массачусетского технологического института и Сандийских национальных лабораторий. Название можно перевести как «проект простого органического ядерного реактора».

Детально обсудив историю направления, авторы выделяют ключевую проблему – деградацию органического теплоносителя и заявляют, что «появление высокотемпературных жидкостей, наряду с достижениями нефтегазовой промышленности в области гидрокрекинга и риформинга, на сегодняшний день только укрепляют позицию органической концепции». В своём проекте они собираются принять действенные «меры для предотвращения деградации теплоносителя, наблюдавшейся в ранних органиче-



Монтаж реактора АРБУС в НИИАРе

ских реакторах», обещая «воспользоваться десятилетиями инноваций и оптимизации в таких областях, как органические теплоносители, переработка углеводородов и создание радиационно-стойких материалов».

Не будем вдаваться в детали предлагаемой авторами новой химии, хотя даже при попытке произнести вслух такие названия, как «полидиметил-силоксан» или «перфлюоро-полиэстер» (в последнем даже нет водорода), испытываешь уважение перед этой великой наукой. Основные характеристики предлагаемого реактора: мощность 500 МВт(т) с температурой органического теплоносителя на выходе 320°C. Реактор предназначен для подводного размещения. Временем внедрения идеи в жизнь скромно называются 2030–2040 годы.

Автор отнюдь не предлагает поддаться обаянию американского оптимизма. Но всё-таки, если это ещё не торжество, то (уже в который раз) провозглашение универсального принципа, присущего далеко не только ядерной технике: «Новые материалы возрождают старые идеи». Что нас ждёт на этот раз, как всегда, покажет время.

СУДЬБА ИСТРЕБИТЕЛЯ

Пишушие об истории отечественного подводного флота редко упускают случай вспомнить о мировом рекорде скорости под водой, установленном советской АПЛ проекта 661. Об этой уникальной лодке много писал адмирал Н.Г. Мормуль, например, в совместной с Л.Г. Осипенко и Л.М. Жильцовым книге 2017 года*. Ей посвящено несколько страниц в нашей книге «Курчатовцы и атомный флот» (2016 год)**, кстати, судя по многочисленным отзывам, нашедшей своего читателя. Однако автор на этих страницах не может пройти мимо истории удивительного корабля – и не только потому, что отдал этому проекту первые и лучшие восемь лет своей жизни в Курчатовском институте. Начало и конец «истребителя авианосцев» – яркий пример того, что путь от первой советской АПЛ до сегодняшнего четвёртого их поколения – не только славная дорога побед и свершений, но и действительно «разведка боем», когда порой необходимо отступать и менять направление атаки.

Ещё в декабре 1959 года, когда первая советская атомная подводная лодка «Ленинский комсомол» только начинала свою службу, вышло Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О создании новой скоростной подводной лодки, новых типов энергетических установок и научно-исследовательских, опытно-конструкторских и проектных работ

* Н. Мормуль, Л. Жильцов, Л. Осипенко. Первая советская атомная подлодка. – М: «Алгоритм», 2017.

** Курчатовцы и атомный флот. Авторы-составители: А.Ю. Гагаринский, Е.Б. Яцишина. – М: НИЦ «Курчатовский институт», 2016.

для подводных лодок». Задумывалась лодка как подводный истребитель, способный догнать самую быстроходную надводную цель, в том числе авианосец, а потом просто «убежать» от преследователей. Она впервые должна была иметь прочный корпус из лёгкого титанового сплава и новое оружие в виде крылатых ракет с подводным стартом. Создание АПЛ проекта 661 шло параллельно с разработкой серийных лодок второго поколения с реактором ВМ-4 (мощностью 90 МВт), головной корабль которого вошёл в строй в 1967 году.

Выполнение постановления потребовало десятилетия напряжённой работы. Ведь для строительства таких кораблей необходимо было создать новую отрасль промышленности – производство титановых сплавов. Лодка была построена на «Севмаше». Её закладка состоялась в 1963 году, а передача в опытную эксплуатацию – в 1969 году.

Ядерные реакторы этой лодки, получившие название В-5 и вдвое более мощные, чем ВМ-4, были результатом творческого содружества Курчатовского института и Научно-исследовательского и конструкторского института энерготехники, который теперь носит имя своего основателя Н.А. Доллежаля.

Разработкой физического облика реактора и ведением проекта от первых идей до пуска на лодке руководил талантливый физик и инженер, один из любимых учеников А.П. Александрова, Александр Николаевич Проценко, впоследствии директор Научно-исследовательского технологического института и заместитель министра атомной энергетики и промышленности. Это был оригинально мыслящий человек, о чём можно судить по его остроумному «рецепту, как сделать реактор», который очень хочется напомнить читателям. Вот он:

«Чтобы сделать простейший элементарный реактор, не нужно знать почти ничего, кроме, пожалуй... рецепта, подобного рецепту из книги для домашних хояек.

Вот как мог бы выглядеть такой рецепт: «Возьмите алюминиевый бак, наполните его 20 литрами дистиллированной воды, засыпьте 3800 граммов уранилнитрата (спрашивайте в магазине уран, обогащённый до 90%), тщательно перемешайте всё стальной ложкой, быстро выньте ложку из бака, и вы получите критический ядерный реактор».

Это, конечно, шутка, хотя принципиально именно так может выглядеть гомогенный реактор. Создать же мощный современный аппарат, тем более такой сложный, как В-5, было очень непростой научной и инженерной задачей.

* А.Н. Проценко. Покорение атома. – М: «Атомиздат», 1964.

Надо сказать, что установка В-5 создавалась без наземного прототипа. Однако на Ижорском заводе, где изготавлялось оборудование реакторных установок, был создан натурный реакторный отсек, проверены собираемость и возможность выполнения монтажа оборудования в условиях АПЛ.

Что касается физики реакторов В-5, то эксперименты проводились на критических сборках Курчатовского института, и об этом хочется хоть немного рассказать.

Создание столь мощного реактора в естественно ограниченном доступном объёме потребовало новых технических решений. Сложная по составу активная зона с плотным размещением шестигранных кассет, совершенно новые по конструкции органы регулирования из нескольких компенсирующих групп и необычный отражатель – всё это привело к принципиальному развитию методов расчёта и их экспериментальной проверке на критических сборках. На это ушло несколько лет.

Чтобы продемонстрировать трудности, с которыми мы сталкивались тогда (а это, напомню, начало 1960-х), приведу только один пример, который может показаться наивным современным специалистам, вооружённым суперкомпьютерами и расчётными кодами, способными детальнейшим образом описывать процессы в реакторе и моделировать его состав и геометрию. Даже сегодня погрешность, возникающую из-за различия реальной активной зоны и её расчётной модели, трудно сделать меньше десятой доли процента в так называемом коэффициенте размножения. Это не очень много, но и не пренебрежимо мало: реактор с таким отклонением от критичности – самоподдерживающейся цепной реакции – будет удваивать свою мощность каждые полминуты. А в то «наше время» умели расчитывать реактор только в виде идеального кругового цилиндра. Создать его в эксперименте, располагая шестигранными кассетами, мы, конечно, не могли, но надо было как-то узнать масштаб погрешности, вносимой отличием реальных сборок от идеального цилиндра. Экспериментаторы взяли это на себя. Пусть приблизиться к идеальному цилинду нам не дано, но «голь на выдумки хитра». Ухудшить-то эту цилиндричность переста-



АПЛ пр. 661 – «Золотая рыбка» или
«Серебряный кит»

новкой кассет мы могли, что и сделали. А тогда – несколько измерений, экстраполяция полученной зависимости «в нуль» – и оценка готова. Оказалось, что она может доходить до уже огромной величины в 1%. Реактор с таким отклонением от критичности существовать не может. Вода за доли секунды превратится в пар, который разорвёт конструкцию. Разумеется, для разработчиков активной зоны исключение этой погрешности было существенным.

Конечно, это только небольшой эпизод в эпопее создания новых реакторов, но в целом, когда в так называемый «Восточный физзаль» Курчатовского института с завода в Электростали для контрольной сборки привезли готовые к погрузке в реакторы подводной лодки активные зоны, оказалось, что их характеристики очень близки к требованиям проекта. Они легко были доведены «до кондиции» небольшим изменением комплектации (корректировкой числа поглощающих элементов). Такая возможность была, естественно, заранее предусмотрена.

Немножко разбавлю серьёзность текста. После испытаний на стенде активные зоны лодочных реакторов требуется тщательно отмывать чистым спиртом (никакие метанолы и суррогаты тут не допускаются). Когда под ответственность молодого руководителя испытаний с завода привезли 400 литров спирта, он в мгновение ока (особенно в глазах «пролетарской» части персонала, надо сказать, специалистов просто замечательных) превратился из похлопывающего по плечу Андрюши в весьма уважаемого Андрея Юрьевича, любые указания которого выполнялись незамедлительно. Зоны промыли, и всё вернулось «на круги своя».

Результатом испытаний была безусловная победа, которая позволила вскоре запустить реакторы В-5 уже на борту АПЛ. Кстати, выводили их на критичность, конечно, те же физики, которые отрабатывали эти активные зоны на московских критстендах. История моей первой серьёзной встречи с «отцом атомного флота» уже описана в нашей книге «Курчатовцы и атомный флот». Позволю себе повторить её на этих страницах.

В первый раз реактор подводной лодки пускают три человека. Один принимает решения, анализирует результаты и выдаёт команды. Он носит немножко странное название: «дежурный научный руководитель». В данном случае это я. Оператор за пультом реализует команды, поворачивая ключи. Ещё есть «контролирующий физик», который следит, чтобы первые двое не натворили чего-либо, угрожающего ядерной безопасности. Остальные, более двух десятков человек, набившиеся в не рассчитанное на такую толпу тесное помещение пультовой – наблюдатели, их приходится время от времени вежливо (звезды на погонах большие), но твердо отодвигать от пульта, иначе они «пускачей» просто раздавят.

Сам процесс пуска – дело в принципе известное. Снимаются показания детекторов в зависимости от положения органов регулирования, строится обязательная «кривая обратного счета» (так делал ещё Игорь Васильевич в 1946 году). Где ей «захочется уткнуться в нуль» – там ожидаемая критичность (когда рождение в реакторе нейтронов сбалансировано с их убылью). Казалось бы, все просто, но недаром курчатовцев до сих пор приглашают проводить ответственные пуски не только морских, но и «сухопутных» реакторов. Этот процесс – хождение по лезвию бритвы. С одной стороны, опасность «потерять» пока ещё ничтожный поток нейтронов и контроль за реактором, с другой – опасность недопустимо быстрого нарастания этого потока. Все это удается пройти с минимальными и не заметными «наблюдателям» отклонениями от нормы. И вот она, долгожданная критичность. Реактор медленно набирает мощность, начинает греться «собственным теплом». Настает время измерения тех самых «температурных эффектов», которым отдана (моя) лучшая часть жизни в атомной науке.

Дальше следуют испытания на мощности, но это уже за пределами сферы нашей ответственности. Физпуск состоялся. Теперь предстоит подробнейший отчет (со всеми выявленными нюансами) Анатолию Петровичу Александрову (в присутствии директора «Севмаша»). Это первый деловой разговор молодого инженера с академиком и возможность познакомиться со знаменитым Александровским стилем спокойного, уважительного и беспощадно внимательного к деталям «разбора полетов». Кто знал тогда, что впереди два десятка лет встреч с этим великим человеком (в том числе в Чернобыле 1986-го) и обсуждений многообразных проблем жизни Курчатовского института.

Государственные испытания лодки дали тот фантастический результат, который вошёл в историю мирового подводного флота и Книгу рекордов Гиннесса. Их описание заимствуем у адмирала Н.Г. Мормуля:

Скоростные испытания проводились в полигоне, где глубина всего 200 м, причём сверху был лед. Выбрали, естественно, среднюю глубину – 100 м. Пространство для манёвра в вертикальной плоскости оставалось весьма ограниченным. Малейшая ошибка в управлении с горизонтальными рулями или отказ авторулевого – и через 21 секунду можно встретиться с грунтом или льдом.

Режим максимальной скорости длился непрерывно 12 часов. Представьте себе металлический цилиндр весом 6000 т, несущийся под водой со скоростью 77 км/ч. Во время циркуляции гидродинамическим сопротивлением вырвало рубочные двери, лючки, повредило легкий корпус. При скорости более 35 узлов на глубине 100 м наростал шум, напомина-

ющий гул самолета. Этот внешний гидродинамический шум вместе с другими шумами создавал в центральном посту обстановку, как в дизельном отсеке при работе дизелей. Шумность здесь доходила до 100 дБ.

Интересен такой факт: при перекладке вертикального руля на скорости 42 узла всего лишь на 3 градуса появлялся динамический крен до 32 градусов... Мы тут же откорректировали инструкцию по управлению лодкой, введя ограничения по перекладке рулей на соответствующих скоростях, иначе лодка могла войти в «подводный штопор».

После скоростных испытаний... в адрес Л.И. Брежнева с моря направили шифровку: «Докладываем. Голубая лента скорости в руках у советских подводников».

В течение 1970 года К-162 занималась опытной эксплуатацией, выполнила оставшиеся пункты госиспытаний. При развитии полной мощности энергоустановками обоих бортов на мерной милю была достигнута подводная скорость 44,7 узла (80,4 км/ч), что до настоящего времени является мировым рекордом.

Появление в море АПЛ проекта 661 стало неожиданностью для наших заокеанских коллег. Чего стоят только её многочисленные названия: «К-162», «Анчар», «Золотая рыбка», «Серебряный кит», даже «Папа» (Рара) по классификации НАТО. В изданной в Великобритании энциклопедии «Современные подводные лодки» (2005 год) содержатся не слишком точные данные об этой АПЛ (они не знали даже, что она двухреакторная), но зато есть безусловная констатация, что она «на долгие годы озадачила западные разведывательные службы».

После опытной эксплуатации АПЛ пр. 661 длительное время служила в составе действующего ВМФ, в том числе совершила походы на полную автономность. Справедливости ради, надо сказать, что через десять лет после начала эксплуатации, при плановой перезарядке активных зон, в результате неправильного монтажа в одном из реакторов произошла неуправляемая цепная реакция. Она сопровождалась повышением давления в первом контуре до 400 атмосфер. «Выручил» компенсатор главного насоса, который лопнул, сработав как предохранительный клапан. Последующие испытания подтвердили сохранившуюся работоспособность активной зоны и реакторной установки в целом. Неисправность устранили, и лодка вернулась в строй. Она была выведена из состава ВМФ (при вполне исправных реакторных установках) в начале 1990-х годов. Утилизация этого корабля, сильно отличавшегося от предшественников, началась только в 2010 году и продолжалась пять лет. История «Серебряного кита» завершилась. Уже перед сдачей книги в печать с большой радостью узнал, что в Приморском парке Северодвинска появится мемориальный комплекс, посвящённый

самой быстрой лодке мира. Его главным элементом будет сохранившаяся при утилизации рубка АПЛ К-162.

Специалисты несколько по-разному смотрят на причины того, что мировой рекордсмен подводной скорости оказался единственным образцом и не был запущен в серию. Разумеется, претензия к виброшумовым характеристикам (борьба с этой болезнью советских АПЛ заняла многие годы) имела место. Главная же причина всё-таки лежала, по-видимому, в другом измерении. Уже построенные к моменту пуска АПЛ пр. 661 головные и несколько серийных лодок второго поколения с установками типа ВМ-4 более отвечали требованиям выработанной тогда морской стратегии и месту в ней подводного флота. Для задач и потребностей АПЛ этого поколения мощность В-5 была избыточной, а для следующего поколения технические решения подводного истребителя уже несколько устарели. Корабль как бы «разминулся» с основным течением развития атомного подводного флота.

Но, как часто бывает, разработанные для одной цели материалы и технологии успешно пережили своё первое применение. Созданные для изготовления прочного корпуса опытной АПЛ добывающие и производственные мощности в последующие годы позволили построить глубоководную опытную АПЛ и две серии новых подлодок (об этом – следующая глава) с титановыми корпусами. В отечественной промышленности титан начал широко применяться для нужд авиации, космической техники, химической аппаратуры и многоного другого. Так что считать этот бой поражением нет оснований.



Выгрузка ОЯТ из реакторного отсека,
2014 год»

СОРЕВНОВАНИЕ ПОД ВОДОЙ

Когда 1950-х годах появились первые атомные субмарины, многим казалось, что «пotaённые суда» (так подводные лодки называли в России) на дизель-электрическом ходу неизбежно проиграют соревнование атомному двигателю с его практически бесконечным ресурсом подводного движения. До этого двигатели подводных лодок прошли огромный исторический путь от мускульной тяги через чисто электрические, аккумуляторные, пневматические, бензиновые, пароэлектрические установки. Дизели начали масово использовать за несколько лет до Первой мировой войны. Сочетание дизельного хода на поверхности с электромоторами под водой позволило достичь значительного времени подводного хода (до десятка часов). До середины 1950-х годов на этом принципе строился весь подводный флот мира.

Конечно, по своим возможностям дизель-электрические подводные лодки не могли сравниться с атомными. Но появление анаэробных, то есть воздухонезависимых энергетических установок сделало неатомные лодки способными находиться в подводном положении до нескольких недель, что, в сочетании с практической бесшумностью, обеспечило неатомной составляющей подводного флота «место в строю». Соревнование превратилось в боевое содружество, где основное место применения дизель-электрических подводных лодок – внутренние моря и акватории небольшой глубины. Только США и Великобритания прекратили строительство неатомных лодок. Россия, Франция, Китай и Индия имеют комбинированный атомно-дизельный подводный флот, и остальной мир, скорее всего, последует за ними.

Прекращение «межвидового» соревнования отнюдь не означало отсутствия «внутривидового» – между разными типами ядерных энергетических установок для нового флота. Для первых атомных подводных лодок США и СССР были выбраны водо-водяные реакторы (вода замедляет нейтроны и отводит тепло), в силу их достаточной компактности и хорошо освоенного теплоносителя.

Однако в США практически параллельно с водяным реактором, который его создатель адмирал Риккер называл «Project Wizard» (проект «Волшебник»), разрабатывался реактор с натриевым теплоносителем «Project Genie» (проект «Джинн»). Буквально через три месяца после выхода в море «Наутилуса», в январе 1955 года, охлаждаемый натрием реактор SIR (Submarine Intermediate Reactor) достиг критичности. Вторая американская АПЛ «Seawolf» («Морской волк») проплавала с этим реактором два года, но технические трудности его эксплуатации (в их числе – постоянная угроза замораживания теплоносителя) оказались слишком велики. После нескольких аварий реактор был заменён на водяной, и на этом недолгое соревнование двух типов реакторных установок в США закончилось.

«Полную драматизму эпопею» освоения реакторов с жидкостеметаллическим теплоносителем для Советского флота очень объективно и честно описал человек, уже около полувека являющийся научным лидером этого направления, Георгий Ильич Тошинский, в прекрасной книге, которую автор с удовольствием рекомендует заинтересованным читателям*. Основателем этого направления был выдающийся советский атомщик Александр Ильич Лейпунский, который ещё в 1952 году, до начала развёртывания работ по атомным подводным лодкам в СССР, предложил сплав свинец-висмут, в отличие от натрия химически инертный, хотя и с худшими теплофизическими свойствами.

В процессе создания советских АПЛ был выдержан принцип, последовательно внедрявшийся И.В. Курчатовым в атомный проект – резервирование технических направлений, обеспечивающее надёжность решения поставленных задач. Параллельно с развитием основного водяного направления были начаты работы по жидкостеметаллическим реакторам. Когда в 1958 году испытывалась первая советская атомная подводная лодка, в Физико-энергетическом институте былпущен наземный стенд-прототип 27/ВТ со свинцово-висмутовым реактором. Всего в рамках этого направления был сооружён ещё один наземный стенд (КМ-1), двухреакторная АПЛ проекта 645, а также семь лодок проектов 705 (главный конструктор –

* Г.И. Тошинский. Беседы о ядерной энергетике, физике реакторов и технологии модульных быстрых реакторов с теплоносителем свинец-висмут. – Саров, 2017.



Первая советская АПЛ проекта 645 со свинцово-висмутовыми реакторами

уже тогда называли кораблями XXI века: малое водоизмещение, высокие скорость и манёвренность (качества подводного истребителя), титановый корпус, комплексная автоматизация (малочисленный экипаж), уникальная блочная турбоустановка и электроэнергетическая система с частотой тока 400 Гц, и многое другое».

Но за достоинства новой техники всегда надо платить, и эта плата для лодок с жидкокометаллическим теплоносителем оказалась высокой. Первая АПЛ проекта 645 с таким реактором была сдана в 1963 году и до 1968 года успешно выполняла свои задачи, в том числе совершила рекордный для того времени автономный поход, проведя под водой около двух месяцев, скрытно прошла в Средиземное море и только там позволила американцам себя обнаружить.

В мае 1968 года на реакторе левого борта АПЛ произошла тяжёлая авария с плавлением около четверти активной зоны. Как потом выяснилось, коренная причина аварии состояла в недостатке знаний о свойствах нового теплоносителя. Накопление в контуре окислов свинца привело к зашлаковыванию части активной зоны, её перегреву и плавлению. Надо сказать, что только после этой аварии были широко развёрнуты работы по технологии теплоносителя. Разработанные устройства глубокой очистки теплоносителя были реализованы на лодках проекта 705, причём когда эти лодки были уже построены, то есть разместить их в качестве штатных в составе реакторной установки не удалось. Соответствующие технологии пришлось применять в условиях базы, что в дальнейшем осложнило и без того непростое базовое обслуживание.

И.И. Африкантов, ОКБМ, Нижний Новгород) и 705К (главный конструктор – В.В. Стекольников, ОКБ «Гидропресс», Подольск).

Основное достоинство реакторов нового направления морского реакторостроения – более высокие параметры теплоносителя – позволяло достичь лучших, чем у водяных реакторов, массогабаритных характеристик и, следовательно, уменьшить диаметр корпуса и водоизмещение АПЛ. Вот как описывает преимущества лодок проектов 705 и 705К Г.И. Тошинский: «Их

Что касается самой аварии, то её тяжёлые последствия – гибель семи членов экипажа – не были неизбежными (лодка оставалась на ходу), а стали результатом ошибочных команд, не удаливших людей от локализованного в реакторном отсеке интенсивного источника радиации. После аварии строительство всей серии АПЛ было приостановлено, но вскоре возобновилось. В 1970 году начались испытания опытной АПЛ проекта 705, а к 1981 году шесть лодок этой серии были переданы флоту. Надо сказать, что аварии с утечкой теплоносителя в реакторный отсек произошли и на опытной лодке проекта 705, и на головной лодке проекта 705К. Они были связаны с коррозионным повреждением оборудования, с причинами которого удалось справиться в процессе эксплуатации.

В последующем запланированная серия лодок успешно эксплуатировалась в течение 15–20 лет, подтвердив свои скоростные и манёвренные качества и, по собственному признанию экспертов из США, поставив в трудное положение их стратегические силы: лодки серии «Альфа» (по номенклатуре НАТО) были способны уйти от американских торпед.

В нашей печати даже сложились некоторые мифы о жидкотемпературных АПЛ. Писали, что это были первые лодки с титановым корпусом, к тому же поставившие мировой рекорд скорости под водой. На самом деле и то, и другое относится ещё к одному выдающемуся достижению советской техники – описанной в предыдущей главе АПЛ проекта 661 с водоохлаждаемым реактором, названной во флоте «Золотой рыбкой». Как отмечал один из основателей советского атомного флота Н.С. Хлопкин, достижения жидкотемпературного направления явно стимулировали усовершенствование реакторных установок с водяным теплоносителем. Было создано их третье поколение, вдвое повышенены мощность и энергозапас, снижена шумность, введена комплексная автоматизация.

Что касается судьбы жидкотемпературных кораблей, то «лодкам XXI века» дожить до него не довелось. Последняя из них была снята с вооружения в 1997 году. Когда в начале 1990-х годов пришлось сокращать отечественный атомный подводный флот, в числе первых под него попали жидкотемпературные лодки. Принимавших такое решение можно понять. «Врождённая» проблема замерзающего при высокой температуре теплоносителя, над которой бились ещё американцы на «Сивулфе», необходимость поддержания его в жидкотемпературном состоянии ложилась тяжким бременем на береговую базу. Когда сумели отработать режимы, позволяющие многократное «замораживание – размораживание» реакторной установки, было поздно – самих объектов уже не стало. О сложной системе очистки теплоносителя уже говорилось. К этому необходимо добавить, что образующийся при облучении висмута радиоактивный полоний сильно осложнял



АПЛ проекта 705К перед выгрузкой активной зоны реактора в Гремихе, 1991 г.

необходимые ремонты оборудования. Что уж говорить, если даже стальной плавучий пирс, к которому швартовались лодки, подвергался электрохимической коррозии при взаимодействии с их титановыми корпусами, что привело к его затоплению.

Уход жидкого металла со сцены был вполне объективен. Энтузиасты этого направления любят говорить, что оно «слишком опередило своё время». Но на это можно посмотреть и с другой стороны. Скорее, темп внедрения новой техники, оправдываемый стратегическими задачами обороны, «слишком опередил» скорость научного освоения сложной технологии и устранения неизбежно возникающих на этом пути проблем. Этого атомная техника, как правило, не прощает.

Конечно, соревнование между водой и жидким металлом для ядерных реакторов далеко от завершения. На суще оно поддерживается перспективами реакторов на быстрых нейтронах, которым вода «противопоказана». Но объективные достоинства жидкокометаллических энергетических установок для флота, разумеется, никуда не делись и, вполне возможно, только ждут новых задач.

ГРАЖДАНСКИЙ АТОМНЫЙ ФЛОТ – ПОЧЕМУ РОССИЯ

Когда в США и СССР только появились первые атомные подводные лодки, соревнование двух основателей «ядерной эры» уже набирало обороты, и появление надводных атомных судов было только делом времени. Интересно, что именно в этой сфере произошёл редкий в истории атомной техники случай, когда гражданское применение опередило своего военного «собрата». Первое в мире гражданское атомное судно – советский ледокол «Ленин» – было принято в эксплуатацию в декабре 1959 года. Американский крейсер «Лонг Бич» вошёл в состав флота летом 1961 года. Правда, потом атомные надводные корабли стали неотъемлемой частью военных флотов и США, и СССР.

Не вдаваясь в историю военного атома на море, кратко напомним мировые события из области гражданского атомного судостроения, которое за рубежом так и не вышло из экспериментальной стадии.

Впервые о намерении Соединённых Штатов построить атомное торговое судно президент Эйзенхауэр объявил в 1955 году (год пуска атомной подводной лодки «Наутилус») и не без труда «продавил» этот проект через Конгресс. Первоначально военные были готовы адаптировать для гражданского судна реакторную установку «Наутилуса», но это противоречило идеи Эйзенхауэра о «мирном атоме». Решение было принято на основе позиции адмирала Риккера. Он утверждал, что эксплуатация атомохода с лодочным реактором будет слишком дорогой, и это решило дело в пользу создания оригинальной реакторной установки (двуухпетлевой PWR, резервные дизели).

Непросто шёл и выбор типа судна. Технические эксперты склонялись к большому контейнеровозу или танкеру, тогда можно было рассчитывать на не слишком убыточную эксплуатацию. Но политикам был нужен имиджевый атомоход, заходящий в порты всего мира и демонстрирующий возможности мирного атома, а тогда он должен был быть сравнительно небольшим и скорее пассажирским, чем грузовым.

Было принято компромиссное решение. «Саванна», названная в честь первого в истории парохода, в 1819 году пересёкшего Атлантический океан, имела водоизмещение 13,6 тысяч тонн и была сравнительно небольшим грузопассажирским судном (максимальное число пассажиров – 60 человек). Она вошла в строй в 1962 году и на протяжении пяти лет выполняла экспериментальные коммерческие рейсы. В 1971 году из реактора выгрузили топливо, судно было выведено из эксплуатации и превращено в музей. Как потом писали американские эксперты, сам выбор проекта обрёк «Саванну» на недолгую жизнь.

Заметно более успешным оказался немецкий проект атомного сухогруза «Отто Ган». Строительство атомохода началось в 1963 году в Киле, осенью 1968 года он приступил к работе. Снабжённый реактором PWR интегральной компоновки, атомоход без каких-либо технических проблем прослужил десять лет, пройдя в общей сложности 650 тысяч морских миль, а это 1 млн 200 тыс. километров. В 1979 году владельцы приняли и реализовали решение о замене реакторной установки на дизельную. В неядерном статусе судно прослужило ещё 30 лет, после чего в 2009 году, уже будучи греческим судном под либерийским флагом, было продано на металломолом.

Наименее удачным стал японский эксперимент. Спущенное на воду в 1964 году атомное судно «Муцу», названное, по-видимому, в честь погибшего во Второй мировой войне одноимённого японского линкора, было введено в опытную эксплуатацию только в 1990 году, после длительных ремонтов ядерной силовой установки. Под «аккомпанемент» массовых демонстраций протesta со стороны рыбаков, в 1990–1992 годах было проведено несколько опытных выходов в море, после чего «Муцу» было списано, ни разу не приняв на борт коммерческого груза.

Больше попыток создать грузовое или пассажирское атомное судно за рубежом не было (о советским атомном лихтеровозе-контейнеровозе «Севморпуть» поговорим отдельно). Время от времени проекты атомных судов обсуждаются, в основном применительно к танкерам. Причина такого положения лежит на поверхности. И пассажирское, и грузовое судоходство на трёх океанах прекрасно обходятся современными дизельными установками. Экономических стимулов перехода к атомных двигателям здесь просто нет.

Для примера возьмём самый традиционный маршрут: через Атлантический океан из Старого Света в Новый и обратно. Вспомним историю приза «Голубая лента» за самый быстрый такой переход. С 1838 года, когда рекорды начали регистрировать, до 1952 года, когда с распространением трансатлантических авиалиний интерес к морскому пути ослабел, длительность рейса Бристоль (Ливерпуль) – Нью-Йорк сократилась с четырнадцати до трёх дней (средняя скорость выросла с 8 до 35 узлов). И это при том, что автономность транспортных судов, то есть длительность пребывания в море без пополнения запасов топлива, провизии и пресной воды, составляет в настоящее время 30–60 суток, а для научно-исследовательских судов может длиться до года.

Если к этому добавить ещё и юридические препоны к заходу «опасного» атома в порты разных стран – например, несчастная «Саванна» была вынуждена содержать специализированный отдел для переговоров с портовыми властями, – ситуация с морскими атомными перевозками окончательно становится проигрышной.

Но человечеству (и мирному атому) повезло – ему достался ещё один океан, Северный Ледовитый, и здесь ситуация оказалась совсем иной. В 1953 году, когда первые атомные подводные лодки только строились, в Советском Союзе было принято решение о создании гражданского атомного судна. В числе нескольких (что вполне естественно) рассматриваемых вариантов была даже экзотическая идея, в силу этого сохранившаяся в истории – снабдить атомным двигателем флагман китобойной флотилии. Остановило её, по-видимому, показавшееся нежелательным близкое соседство «мирного атома» и получаемой продукции, в том числе пищевого назначения. Да и китобойный промысел тогда уже начали подвергать обструкции, а к 1971 году и вовсе предложили запретить. В итоге остановились на атомном ледоколе, и это решение стало, как сейчас говорят, «судьбоносным».

В России, стране с самой протяжённой северной морской границей, плавание во льдах имеет тысячелетнюю историю. «Ледокольные лодки» (или «ледокольные сани») применяли во многих северных реках, продавливая лёд тяжёлым гружёным ящиком с изогнутым дном. Выдающийся вклад в российскую науку ледоколостроения внёс наш великий соотечественник, выходец с Севера, Михайло Васильевич Ломоносов. В своей работе «О приготовлении к мореплаванию Сибирским океаном» он впервые обосновал главные качества ледовых судов: манёвренность, яйцевидную форму, прочный ледовый пояс. В 1864 году кронштадтский корабель М.О. Бритнев построил первый в мире пароход ледокольного типа «Пайлот», за которым последовали ещё несколько ледоколов этого проекта. В 1897 году по зака-



Вехи исторического пути атомного ледоколостроения:
«Ленин» спущен на воду в 1957 году, новая «Арктика» – в 2016 году

зу правительственной комиссии адмирала С.О. Макарова на английской верфи был заложен крупнейший в мире ледокол «Ермак». Первыми советскими ледоколами стали «Иосиф Сталин», «Адмирал Макаров», «Сибирь» и другие. Все они были построены на Балтийском и Николаевском судостроительных заводах незадолго до Великой Отечественной войны*.

Создание и развитие атомного ледокольного флота стало принципиально новым этапом в освоении главной арктической судоходной магистрали – Северного морского пути. Появилась возможность качественно расширить короткую северную навигацию. Остальные страны циркумполярной зоны – Норвегия, Дания, США и Канада – не претендуют на такие масштабы арктического судоходства. У американцев осталось лишь два действующих (неатомных) ледокола. По оценкам береговой охраны США, им нужно шесть новых ледоколов. Однако следующий (впервые за сорок лет) спустят на воду лишь к 2023 году. Не требующее ледоколов плавание в подогреваемом Гольфстримом Норвежском море и маршруты в море Бafforta – это совсем другая история.

* В.Н. Половинкин, А.Б. Фомичёв. История и современное состояние перспективного ледового флота в Российской Федерации. «Арктика: экология и экономика», №4(8), 2012.

Атомное ледоколостроение прошло непростой путь. Наш первенец – атомный ледокол «Ленин» за 30 лет прошёл более 650 тысяч миль и провёл около 4 тысяч судов. Но половину этого срока эксплуатации он был единственным гражданским атомоходом в Северном Ледовитом океане. Тем не менее к концу «вахты» первого ледокола с ядерным двигателем советский атомный гражданский флот располагал восемью ледоколами (девятый был введён в строй уже в 2007 году) и одним грузовым судном – лихтеровозом «Севморпуть».

Нет нужды повторять, что отцом отечественного атомного флота был академик А.П. Александров, а научным руководителем – Курчатовский институт. При этом все ядерные энергетические установки советских и российских надводных кораблей – от первых ОК-150 мощностью 90 МВт для ледокола «Ленин» до 300-мегаваттных КН-3 для тяжёлых атомных ракетных крейсеров были разработаны безусловным лидером отечественного морского реакторостроения – Опытным конструкторским бюро машиностроения. Созданное в далёком 1947 году на базе КБ Горьковского машиностроительного завода, это ведущее и занимающееся отнюдь не только флотом предприятие атомной промышленности страны носит теперь имя одного из своих основателей, Игоря Ивановича Африкантова. «Цепочка» судовых реакторных установок, создаваемых ОКБМ, естественно, продолжается: от КЛТ-40 для ледоколов с ограниченной осадкой и лихтеровоза до атомных двигателей РИТМ-200 и РИТМ-400 для ледоколов нового поколения.

О судьбе единственного на сегодня в мире атомного грузовика «Севморпуть» стоит сказать особо. Она тоже сложилась непросто, как и у всех его предшественников. Атомное судно вошло в строй в 1988 году. Совершив первый круиз вокруг Африки, оно поработало на Дальнем Востоке, затем было переведено на Северный морской путь. Обрекать «Севмор-



Северный морской путь – грузопоток растёт



«Ямал-СПГ» начал действовать

ние в металлом казалось неминуемым. Но в Арктике «подули новые ветры». Судно было восстановлено, а ресурс его ядерной энергетической установки увеличен в полтора раза. В 2016 году, после трёхлетней реконструкции, «атомный грузовик» вернулся в строй и успешно выполняет заказы (в основном Министерства обороны).

Судьба «Севморпути» наглядно иллюстрирует ту развидку, которую прошёл атомный гражданский флот России. Вполне могло просто не набраться достаточно побудительных мотивов к дальнейшему строительству атомных ледоколов, до сих пор финансируемому исключительно из госбюджета. Суровые ледовые и погодные условия (особенно в восточном секторе), недостаточно развитая инфраструктура Северного морского пути, невыгодные условия страховки – всё это не создаёт альтернативу транзиту по южному морскому пути, хотя тот в два с половиной раза длиннее. В настоящее время Суэцкий канал способен пропускать до ста судов в сутки. Неумолимый вывод из эксплуатации стареющих атомных ледоколов (к 2018 году их осталось четыре) завершил бы историю мирного атома на флоте. Но этого не случилось.

В середине 2000-х годов вставшее с колен российское государство снова вернулось к идеи наращивания своего присутствия в Арктике. Знаковый показатель – грузооборот по СМП. По итогам 2017 года он достиг исторического рекорда в 10 млн тонн, а через год – уже больше 20 млн тонн. Задача,

путь» на «холодный отстой» начали уже с 1991 года. Именно тогда председатель правительства Е.Т. Гайдар произнёс историческую фразу: «Север заселён искусственно, и содержать его смысла нет». В «лихие девяностые» грузооборот на СМП упал почти в четыре раза. Но «Севморпуть» удержался на плаву до 2007 года, перевозя грузы «Норильского никеля». Затем никелевый монополист построил свой грузовой флот (пять контейнеровозов ледового класса и танкер), и атомное судно всё-таки было переведено в отстой. Его превращение

поставленная президентом страны – к 2024 году довести объём перевозок до 80 млн тонн, – может быть даже перевыполнена. Основным, как теперь говорят, драйвером этого роста будет не столько транзит, сколько добыча и транспортировка полезных ископаемых, прежде всего сжиженного природного газа. Северный морской путь незаменим для наращивания экспорта углеводородов. Наиболее крупным заказчиком морского транспорта является компания «Новатэк» с её проектом «Ямал–СПГ» и ожидаемым взрывным ростом перевозок. Первый танкер-газовоз отправился в Европу в декабре 2017 года. Кстати, терминал для СПГ за Полярным кругом – первый в мире. В восточной части СМП надежды связаны с проектом «Арктик–СПГ–2».

Эти и другие (не забудем о нуждах обороны) новые задачи в Арктике выстроили амбициозную программу атомного ледоколостроения. Первая её стадия – это три двухходочных ледокола мощностью 60 МВт для проводки судов по СМП и работы в устьях великих северных рек. Они уже достраиваются и скоро приступят к работе. Другая часть программы – ещё два таких атомохода, а также создание многофункциональных офшорных судов мощностью 25 МВт для навигации в районах арктического шельфа и мелководья. Флагманом этого мощного атомного флота призван стать сверхмощный ледокол «Лидер» (120 МВт, водоизмещение более 70 тыс. т), способный обеспечить круглогодичную навигацию в многолетних льдах восточного сектора Арктики (толщиной до 4-х метров). Это давняя мечта полярников, и проект уникального судна уже разработан. Начало строительства на новом дальневосточном судостроительном комплексе «Звезда» правительством уже объявлено.



Атомные суда мира (сверху вниз):
«Саванна», «Отто Ган», «Муцу»

Это 2020 год. Если сроки будут соблюдены, выход «Лидера» с верфи произойдёт в 2027 году. Появление этого ледокола сделает проводку сверхбольших морских танкеров водоизмещением 80–120 тыс. т экономически выгодной.

Время покажет, когда и в каком объёме эти далеко идущие планы станут реальностью. А заодно и присоединится ли к России в деле развития гражданского атомного флота остальной мир.

Наши китайские коллеги, которые, как известно, слов на ветер не бросают, уже создают ледокольный флот. В 2019 году они планируют сдать в эксплуатацию второй ледокол «Снежный дракон – 2», который строится на китайской верфи. Первый «дракон» когда-то был советским ледоколом, построенным на Херсонском заводе и проданным Украиной в начале 1990-х годов. Летом 2018 года Китайская национальная ядерная корпорация объявила открытый тендер для судостроителей на создание ядерного ледокола. Так что «почивать на лаврах» не получится.

«ИЗГНАТЬ АТОМНУЮ ЭНЕРГИЮ С ЛИЦА ЗЕМЛИ»

Этот жёсткий призыв приписывают академику Андрею Дмитриевичу Сахарову, отнюдь не противнику мирного атома. Выдающийся учёный и гражданин был убеждён, что «человечество не может обойтись без ядерной энергетики», но «должен быть принят международный закон, запрещающий наземное размещение ядерных реакторов».

Изложим, однако, историю «подземных реакторов» в её хронологической последовательности. Впервые они заработали на нашей планете задолго до появления на ней человека. В 1972 году французские специалисты, исследовав изотопный состав урановой руды, добытой на месторождении Окло в Габоне, с изумлением поняли, что единственным объяснением её необычного состава было существование в глубинах Земли ядерных реакторов, появившихся два миллиарда лет назад и проработавших сотни тысяч лет. Всего на территории Окло, и нигде больше в мире, было обнаружено 17 (!) ископаемых природных реакторов. Кстати, отсутствие на поверхности каких бы то ни было следов этой ядерной деятельности стало надёжным доказательством возможности долговременной изоляции радиоактивных отходов под землёй.

Для полноты картины «дочеловеческой» ядерной эры упомянем о довольно обоснованной гипотезе, предполагающей существование действующего ядерного реактора в центре Земли. Согласно оценкам специалистов по так называемым геонейтрино, «доносящим» человечеству информацию из земных глубин, верхний порог его мощности ещё много выше суммар-

ногого достижения «рукотворной» ядерной энергетики. Не знаю, всем ли нравится жизнь «на крышке реактора», но если это так, то нас об этом не спросили. Зато в этом случае вряд ли стоит расстраиваться, что мы распространяли эту технологию и на поверхность Земли.

Однако рукотворные реакторы появились под землёй задолго до открытия 1972 года и отнюдь не из-за необходимости обеспечить безопасность ядерной энергетики, хотя энергию для города атомщиков они производили.

Перед читателем короткий отрывок из постановления Совета Министров СССР от 26 февраля 1950 года за короткой подписью «И. Сталин»:

«В целях надёжного укрытия комбината №815 от нападения с воздуха и обеспечения его бесперебойной работы Совет Министров Союза ССР постановляет:

1. Комбинат №815 по производству теллура-120 (одно из многих названий плутония – прим. автора)... построить под землёй в скальных породах с заглублением не менее 200–300 м над потолком сооружений.

2. Утвердить для строительства комбината №815 площадку на р. Енисей, на правом берегу, на 50 км ниже г. Красноярска».

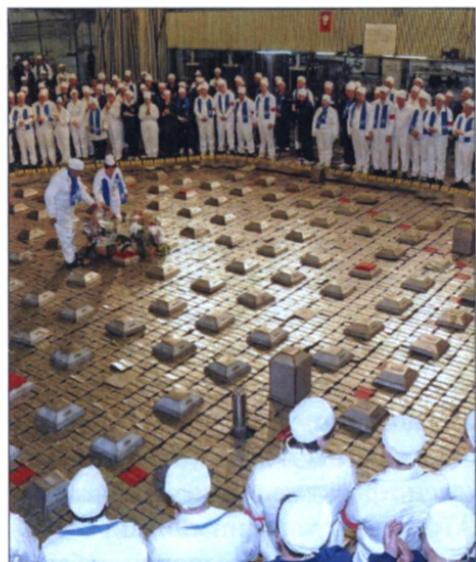
Как можно понять, критериями для выбора места будущего комбината стали наличие горного массива на берегу многоводной реки, расположение рядом с большим промышленным центром и удаление от границ СССР. Вот некоторые (займствованные из постановления) детали уникального проекта: три входных тоннеля «для создания нормальных условий доставки рабочих к месту работы и с работы», тоннели «для аварийного водоснабжения комбината и выхода рабочих на поверхность», массивные заслоны на входных тоннелях «для защиты подземных сооружений комбината при нападении с воздуха», вентиляция, «рассчитанная на поддержание нормальной влажности воздуха и предотвращение коррозии конструкций, оборудования и продукции комбината» и оборудованная «средствами очистки воздуха на случай отравления атмосферы при нападении с воздуха».

Странно, что в тот же день и за той же подписью вышло постановление, учитывающее необходимость «выполнения до начала основных строительных работ большого объёма горных подземных работ» на комбинате №815 и уменьшающее установленный «план производства "теллура-120" на 1949–1954 гг. с 992 до 828 кг». Читатель должен оценить точность пятилетнего планирования производства этого жизненно важного для страны материала.

Гигантское предприятие, сохраняющее возможность производства оружейных материалов даже в условиях атомной войны, было построено.

Специалисты говорят, что объём горных выработок – около 15 миллионов кубометров поднятой породы – превысил все известные масштабы подземного строительства в мире. Это примерно московское метро – и метростроевцы, конечно, были к этому строительству привлечены. В 1958 году впервые в истории в скальных выработках был выведен на мощность промышленный уран-графитовый реактор (его называли АД), способный производить 500 кг плутония в год. В 1961 году состоялся пуск второго реактора (АДЭ-1), а в 1964 году – третьего (АДЭ-2). Этот реактор использовался также для выработки электроэнергии и отопления города Железногорска. В 1992 году были остановлены первые два реактора. Последний проработал до 2010 года, когда, по соглашению между Россией и США, после 46 лет эксплуатации прекратил производство плутония. На этом производство оружейного плутония в стране было завершено. Стоит сказать, что всего в СССР работали 13 промышленных уран-графитовых реакторов для производства плутония.

Советские подземные реакторы выполнили свою задачу, но, пожалуй, не приблизили создателей атомной техники к пониманию целесообразности «зарывать её в землю» уже с точки зрения безопасности. Опыт эксплуатации реакторов АД, по понятным причинам, не был и, наверное, уже не будет опубликован. Однако люди, хорошо знавшие замечательного советского атомщика Александра Григорьевича Мешкова, ставшего директором Горно-химического комбината (он же Красноярск-26, он же комбинат



Реактор АДЭ-1 остановлен

№815) и пускавшего эти реакторы, рассказывают, что этот выдающийся специалист, досконально знавший проблему, был скорее скептически настроен по поводу безопасности подземной ядерной энергетики.

Советский Союз, конечно, не остался одиноким ни в создании подземных реакторов, ни даже в их предназначении. Уже в 1955, а затем в 1957 и 1962 годах началось строительство трёх сравнительно небольших европейских реакторов, расположенных в тоннелях или пещерах под скалами. Это норвежский Халден (25 МВт, запущен в 1959 году), шведская Огеста (12 МВт, 1964 год) и швейцарская Лусенс (12 МВт, 1968 год). Роднит их не только подземное размещение, но и тяжеловодный замедлитель, что, как известно, даёт самый лучший путь к производству оружейного плутония. И, хотя Халден наречён «исследовательским» реактором, а Огеста и Лусенс – «атомными электростанциями», их первоначальная принадлежность к оружейным программам очевидна. В Норвегии до Халдена на маленьком исследовательском реакторе к 1960 году уже было наработано 400 г плутония. В случае Огесты задача создать прототип реактора-наработчика никогда и не скрывалась. Тогда становится вполне понятным стремление спрятать всё это в скалах, с которыми у этих стран проблем нет.

Интересно, что административный совет округа Стокгольм хочет остановить запланированный снос Огесты, несмотря на то, что государственная управляющая компания Vattenfall настаивает на демонтаже. Причина – историческая ценность объекта, причём именно потому, что целью постройки была не только в использовании реактора для энергоснабжения Стокгольма, но и в наработке оружейного плутония на случай его необходимости для армии Швеции и НАТО. Это не очень просто из-за радиоактивной загрязнённости здания. Но власти шведской столицы хотят, чтобы правительство нашло способ решить проблему отходов и сохранить здание с превращением его в государственный мемориал.

Это действительно был тот исторический период, когда европейцы стремились к ядерному оружию. Вспомним, что Великобритания обзавелась им в 1952 году, а Франция – в 1960 году. Кстати, кроме указанных стран к ядерному оружию «примерялись» Италия и даже Германия, которая по Парижским соглашениям 1954 года отказалась от производства такого оружия, но только на своей территории (а совместные с Италией и Францией попытки были). Но уже тогда было понятно, что проблема не только в наработке плутония. Европейцам нужна была помочь Соединённых Штатов. Собственно, на это и был нацелен проект создания так называемых «многосторонних ядерных сил НАТО», подготовленный США в 1960 году, но так и не реализованный. В тот период в США осознали проблему нераспространения ядерного оружия и поняли, что по политическим, да

и экономическим соображениям лучше не ввязываться в создание его в Европе, а просто пообещать «ядерный зонтик». Договор о нераспространении ядерного оружия 1968 года подвёл итог этому этапу в использовании атомной энергии.

Атомные электростанции подземного размещения, созданные именно для производства электричества, появились сначала в США, затем во Франции. Это однореакторная АЭС Гумбольдт-Бей в Калифорнии с реактором BWR (1963 год) и первый блок АЭС Шо в Арденнах с реактором PWR (1967 год), врезанный в скалу на глубину 110 м.

Почему такие станции появились, можно понять. В США это был период практического опробования всех перспективных идей, имевшихся тогда у родоначальников «атомной эры». Сегодня такой период переживает Китай. Во Франции началось внедрение в национальную энергетику реакторов американского дизайна. Это был первый коммерческий PWR, построенный в Европе (наш ВВЭР-210 на Нововоронежской АЭС 1964 года – ни за PWR, ни за европейский реактор у них, понятное дело, не признавался). Демонстрация особой заботы о его безопасности была вполне обоснованной.

Обобщая опыт создания и эксплуатации первых и пока последних подземных АЭС, приходится признать, что уж очень позитивным его не назовёшь. Особенно не повезло швейцарской АЭС Лусенс. Уже через год после пуска коррозия привела к разрушению части тепловыделяющих сборок, а затем к аварии с частичным расплавлением активной зоны и радиоактивному загрязнению «пещеры реактора» (подземное размещение всё-таки пригодилось). Её пришлось запечатать и оставить «на добрую память» будущим швейцарцам. А швейцарские производители электроэнергии, не дождавшись пригодного для коммерческих нужд отечественного реактора, начали строить АЭС по американской технологии (АЭС Безнау-1 – в 1965 году, АЭС Мюлеберг – двумя годами позже).

АЭС Огеста и Гумбольдт-Бей проработали благополучно, но по реакторным меркам весьма недолго – 10 и 13 лет, соответственно. Их остановили по туманно объясняемым



АЭС Огеста



АЭС Шо

экономическим причинам. В американском случае к этому добавилось вполне понятное нежелание тратиться на удовлетворение новых требований усовершенствования безопасности после аварии на АЭС Тримайл-Айленд.

Французский блок Шо-1 проработал 24 года, что тоже не слишком много для реакторов PWR. Во всех этих случаях среди причин преждевременной остановки никаких проблем с эксплуатацией не называлось. Однако это не значит, что их не было. Вывод из эксплуатации и демонтаж блоков Гумбольдт-Бей и Шо-1 продолжается.

Наиболее «счастливой» оказалась судьба реактора Халден. Он безупречно проработал в течение 57 лет в режиме исследовательского реактора, многие годы являясь экспериментальной базой для 19 стран (в том числе и России), которые в рамках проекта Ядерно-энергетического агентства Организации экономического сотрудничества и развития (NEA/OECD) вели на нём исследования безопасности материалов и выгорания ядерного топлива самых разных типов в длительных кампаниях. Но и этот подземный реактор подстерегла беда. В 2016 году, опять-таки в результате разрушения тепловыделяющих сборок, произошла авария с выходом радиации в реакторный зал и облучением персонала. Йод-131 после этого над Европой полетал.

На этой невесёлой ноте пора вернуться к идее «упрятать под землю» всю ядерную энергетику. Представим подробнее позицию А.Д. Сахарова*.

Я убеждён, что человечество не может обойтись без ядерной энергетики. Дальнейший прогресс и особенно задачи повышения уровня жизни во всём мире неизбежно потребуют увеличения глобального производства энергии, несмотря на одновременное развитие энергосберегающих технологий. Неизбежно встанет проблема истощения топлива и других энергетических ресурсов. Необходимо отметить при этом, что большинство существующих сейчас способов получения энергии далеко не безопасны в экологическом отношении. В особенности это относится к наиболее эконо-

* А.Д. Сахаров. Реакторы под землёй. 1988 (www.sakharov-archive.ru).

мичным и массовым способам. Так, электростанции, работающие на угле, выделяют огромные количества сернистого газа и двуокиси углерода. Также очень вредными, хотя в несколько меньшей степени, являются электростанции, использующие нефть и газ; запасы этих видов топлива особенно быстро истощаются. Экологически «чистые» способы получения энергии, основанные на использовании возобновляемых источников (солнечная, ветровая, геотермальная, приливная энергетика), по-видимому, требуют больших капитальных затрат на единицу мощности и неудобны в некоторых других отношениях и поэтому вряд ли могут полностью решить энергетическую проблему. Наличие атомных электростанций (АЭС) и атомных теплоцентралей (АТЦ) в сочетании с другими источниками энергии крайне важно в экономическом и экологическом отношении.

Однако необходимо обеспечить безопасность ядерной энергетики. Нельзя допустить повторения катастрофы, подобной той, что произошла в Чернобыле.

Во многих странах, в том числе в СССР, в качестве основного направления развития ядерной энергетики рассматривается строительство реакторов, использующих в качестве замедлителя нейtronов воду и снабженных защитными колпаками и оболочками. Теоретически такие реакторы весьма безопасны. Но все же если произойдет очень крупная авария (почти исключённая по всем оценкам, но ведь и аварию в Чернобыле никто не предполагал возможной!), защитные колпаки и оболочки могут оказаться недостаточными для предотвращения распространения радиоактивных веществ. Кроме того, остается опасность диверсий и разрушения реакторов во время войны, в том числе неядерной.

Я считаю, что кардинальным решением проблемы безопасности ядерной энергетики является размещение ядерных реакторов под землёй, на глубине нескольких десятков метров. Глубина должна быть выбрана так, чтобы при возможной ава-



Реактор Халден

рии был исключен сколько-нибудь существенный выход радиоактивных продуктов на поверхность. Конечно, нужно также исключить возможность контакта при аварии радиоактивных продуктов с почвенными водами... ещё в 70-е годы, т. е. до аварии в Чернобыле, были разработаны технические проекты подземных АЭС и АТЦ с приемлемыми экономическими характеристиками.

...Безопасность ядерной энергетики не может считаться внутренним делом какой-либо страны, как это показали последствия аварии в Чернобыле. Я считаю, что должен быть принят международный закон, запрещающий наземное размещение ядерных реакторов и предусматривающий поэтапную постепенную остановку всех ранее построенных реакторов, не удовлетворяющих требованиям безопасности».

Академик Сахаров был отнюдь не одинок в приверженности к подземному размещению атомных станций. В последние два десятилетия прошлого века эта идея в Советском Союзе, а затем России имела немало сторонников, особенно среди специалистов по подземному строительству. Энтузиасты этого направления из Горного института Кольского научного центра РАН довели дело до разработки для Кольского полуострова проекта подземной АЭС штольневого типа с реактором ВВЭР-1000, выполненного нижегородским «Атомэнергопроектом». Весьма активны были ленинградские специалисты (из ЦНИИ им. А.Н. Крылова), продвигавшие для этой цели реакторы ледокольного типа.

Стоит заметить, что в арсенале сторонников подземных АЭС были не только виртуальные аргументы (из области «очевидно, что...») лучшей защиты от внешних воздействий и терроризма, а также гарантированной безопасности для населения при тяжёлых авариях, но и уже существовавший практический опыт подземных ядерных взрывов мирного назначения. Возможности этой технологии были поняты ещё на заре ядерной эры и кратко описаны в одной из предыдущих глав. Не вдаваясь в причины отказа от них (не технические, а политические), надо сказать, что камуфлетные (то есть подземные, без образования воронки и выхода газообразных продуктов) взрывы подтвердили свою – хоть и не абсолютную – надёжность.

В общем, после Чернобыльской аварии, когда судьба ядерной энергетики в нашей стране буквально «висела на волоске» (работы по сооружению АЭС были остановлены на 140 площадках) и вопрос о подземном размещении АЭС приобрёл особую остроту, накопленный практический опыт уже давал объективную базу для дискуссии.

Участники довольно бурных обсуждений того периода, в том числе в существовавшем тогда (вплоть до раз渲ла Союза) высшем, хотя и консультативном органе – Межведомственном научно-техническом совете по

вопросам атомной энергетики – вспоминают, что безуспешно пытались привлечь академика Сахарова к открытой дискуссии. Конечно, со стороны Андрея Дмитриевича это не было каким-то пренебрежением к мнению коллег по «атомному цеху». Как можно понять, это была его принципиальная позиция, изложенная, в частности, в известном интервью Б.Е. Немцову (октябрь 1988 года): «Несомненно, независимая экспертиза нужна... У нас в стране независимой могла бы быть комиссия отделения энергетики АН СССР. Во всяком случае, она более независима от комитета по мирному использованию атомной энергии (читай – Минсредмаша – прим. автора), чем те институты, которые проектируют реакторы и станции. Эти учреждения абсолютно зависимы, они связаны между собой сложной цепью взаимоотношений, их мнение будет мнением всей организации». Позднее он говорил, что вопрос о подземных АЭС «может быть решён только на уровне политическом и социальном. Специализированные ведомства его в принципе решить не могут».

Подвергать сомнению взгляды таких людей, как А.Д. Сахаров, не принято, но что поделаешь, когда десятилетия, прожитые внутри атомной отрасли, учат: попытки решения конкретных научно-технических проблем сразу «там, наверху», через голову научного сообщества, практически всегда кончаются ничем, хотя предпринимаются до сих пор. Совершенствование защитных оболочек АЭС постепенно убедило специалистов, что адекватные подземным надёжные условия изоляции ядерных реакторов можно создать и на поверхности земли. Активность в продвижении подземного размещения сошла на «уровень фона» без каких-либо возражений со стороны власти.

Конечно, это не означает, что создатели АЭС к этой идеи не возвращаются. В числе многочисленных американских разработок последнего времени (пока что бумажных) по малым модульным реакторам, их подземное размещение предусматривается достаточно часто. По выставкам Росатома гуляют многочисленные прорисовки подземных (или подводных) ядерно-энергетических установок для удалённых посёлков, питания комплексов по добыче органического топлива или энергоснабжения военных баз. Недавно Китай заявил о планируемом создании подземных станций с жидкоксоловыми реакторами. А это уже серьёзно. Наши китайские коллеги весьма последовательны в проверке всего мирового (и особенно российского) опыта реакторостроения.

В заключение заметим, что сегодня идея пространственного разделения людей и атома заметно трансформировалась в пока ещё только предлагаемое подводное размещение необслуживаемых ядерных установок. Об этом заявляют не только в России, но и во Франции. Ещё в 2011 году

французская компания DCNS анонсировала проект малой подводной модульной АЭС, закоренной на глубине 60–100 м на расстоянии нескольких километров от берега.

Что же касается перспектив упрятать под землю **всю** мировую ядерную энергетику, то они гораздо менее вероятны, чем даже мечтания множества апологетов «зелёной энергии» о полном отказе от мирного атома.

СОВЕТСКАЯ АКТИВНАЯ ЗОНА В АМЕРИКАНСКОМ БАКЕ

Эта удивительная история произошла во Вьетнаме. Курортный городок Далат расположился в высокогорной долине вокруг «Озера утренних вздохов» с «вечной» температурой воздуха и воды 25°C. Если бы проводился конкурс по поиску места для рая, думаю, что Далат без труда вошёл бы в группу лидеров, а может, стал бы победителем. Именно там, в Далате, в 1963 году американцы построили ядерный реактор. Но обо всём по порядку.

Уже в начале «ядерной эры» её создатели поняли, что лучшего устройства, чем небольшой и безопасный реактор, для исследований по физике, производства изотопов, многих других применений, а также обучения персонала, просто не придумать. Не случайно за всю мировую ядерную историю в 70-ти странах на всех континентах было построено более 800 ядерных исследовательских установок (МАГАТЭ включает в их число и критические сборки). Такие установки многие годы успешно работают в странах, не признающих ядерную энергетику – в Австрии, Греции, Дании, Норвегии и Португалии. С числом исследовательских реакторов могут конкурировать (проигрывая при этом) только реакторы атомных подводных лодок. У нас, людей, «война и мир», как всегда, рядом. Правда, энергетических реакторов в мире стало тоже много – уже более 450. Но согласитесь, АЭС и подводные лодки всё-таки не слишком пригодны для физических исследований и обучения студентов атомной науке и технике.

В 1954 году в Лаборатории измерительных приборов АН СССР – так тогда называлось научное учреждение, сегодня известное всему миру как

Курчатовский институт – был запущен первый водо-водяной (вода замедляет нейтроны и охлаждает ядерное топливо) баковый реактор ВВР-2 мощностью 300 кВт. В 1957 году – мы уже назывались Институтом атомной энергии, тогда ещё не носившем имени своего основателя – заработал водо-водяной реактор бассейнового типа ИРТ первоначальной мощностью 1000 кВт. Следует сказать, что эти исследовательские реакторы, как и большинство их в стране, были созданы по проектам, разработанным под руководством Н.А. Доллежаля в Научно-исследовательском и конструкторском институте энерготехники.

Эти аппараты, как и их «наследников», отличало сочетание простоты конструкции и удобства проведения экспериментов при относительно небольшой стоимости и высоком уровне безопасности. В реакторах, где нейтроны замедляются водой, её тепловое расширение обеспечивает самогашение цепной реакции с ростом температуры, то есть, как любят говорить физики, создаёт «внутренне присущий механизм безопасности».

Когда Советский Союз, как и положено одному из родоначальников «атомной эры», включился в мирное соревнование по распространению на планете исследовательских реакторов, такие свойства ВВР и ИРТ позволили создать на их основе большую серию. В период с 1955 по 1958 г. по предложению И.В. Курчатова нашим правительством были приняты решения о сооружении 20 исследовательских реакторов в СССР и за рубежом. Различные модификации реакторов ВВР и ИРТ послужили «ядром» физических институтов и научных центров России и других республик СССР, научной базой для становления национальных физических школ. С 1959 по 1967 г. было построено одиннадцать таких центров. За несколько более продолжительный период (1957–1983 гг.) за рубежом с помощью Советского Союза было построено 15 исследовательских реакторов в 13 странах мира.

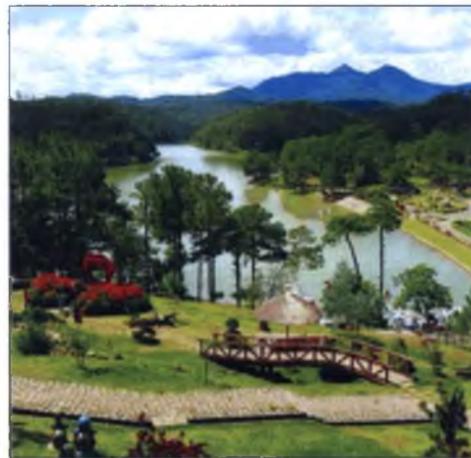
Справедливость требует признать, что наиболее обширное семейство исследовательских реакторов в мире составляют американские реакторы TRIGA (акроним от слов: тренинг, исследования, изотопы, «Дженерал Атомикс»). Шестьдесят девять реакторов TRIGA нескольких модификаций было построено в 23-х странах (мировой рекорд), в том числе в Бангладеш, Колумбии, Конго, Марокко, Пуэрто-Рико, Таиланде и на Филиппинах. Какова в этом очевидном успехе роль американской атомной политики или финансовых условий Дженирал Атомикс, вряд ли стоит обсуждать на этих страницах. Но вот научное достижение американских физиков и инженеров заслуживает упоминания.

Команда, разрабатывавшая проект TRIGA под руководством выдающегося американского физика Фримена Дайсона, придумала и реализовала замечательную идею, вошедшую в копилку ядерных технических дости-

жений. Кстати, любители фантастики должны помнить «сферу Дайсона» – тонкую сферическую оболочку радиуса планетных орбит со звездой в центре. Так вот, «звездой» в реакторе TRIGA является ядерное топливо, содержащее водород в форме гидрида циркония. Это обеспечивает большой и, самое главное, очень быстрый отрицательный температурный эффект, «мгновенно» гасящий реактор (в водо-водяном реакторе с пространственно-разделёнными топливом и замедлителем температурные эффекты проявляются с заметным запаздыванием). В итоге, как утверждает глава Дженерал Атомикс, получился реактор, «безопасный даже в руках юного студента».

«Ареалы распространения» исследовательских реакторов советского и западного дизайна изредка пересекались (например, в Ираке, Югославии), но TRIGA и советский водо-водяной реактор (это был ВВР-С) «сошлись» в одной стране лишь однажды. В Румынии реактор ВВР-С в Бухаресте был запущен в 1957 году (ныне он выводится из эксплуатации), а TRIGA – в Питеши в 1980 году. Однако самая яркая их «встреча» состоялась во Вьетнаме.

Весной 1963 года в самом центре вьетнамского курорта Далат, где расположился Далатский институт ядерных исследований, был запущен реактор TRIGA-MARK-II мощностью 250 кВт, один из первых в Юго-восточной Азии. Цель – производство радиоизотопов для медицины и промышленных применений, фундаментальные и прикладные исследования по нейтронной и реакторной физике и, конечно, накопление опыта и знаний по ядерной деятельности. В 1968 году, когда уже вовсю полыхал «американский период» вьетнамской войны, реактор остановили. Но активную зону вытащили только в 1975 году, оставив на месте графитовый отражатель,



Далатский институт ядерных исследований на берегу «Озера утренних вздохов»

бетонную защиту, пучковые трубы, тепловую колонну и, разумеется, сам реакторный бак, не говоря уж об изотопной лаборатории. Как ядерное топливо вывозили в США, фотографий в прессе не было, да это и не важно, зато весь мир облетели фотографии эвакуации американского посла с крыши посольства в Сайгоне 30 апреля 1975 года.

Но задачи, которые решались на далатском реакторе, остались необходимыми и для правительства Демократической Республики Вьетнам, после победы в почти двадцатилетней войне ставшей Социалистической. Проявив государственную мудрость, в 1979 году оно обратилось за помощью к Советскому Союзу, и в конце 1983 года в американском реакторном баке появился советский реактор ИВВ-9 (модификация ИРТ), который с 1984 года начал работать на мощности 500 кВт. Тем самым во Вьетнаме возродилась база для развития атомной науки и техники.

Разумеется, на этом развитие вьетнамской атомной науки и техники не остановилось. В 2017 году Росатом подписал соглашение с Министерством науки и технологий Вьетнама о создании Центра при Вьетнамском институте атомной энергии (VinAtom). В проекте заложены новые ядерные исследовательские установки, одна из которых – рядом с реактором Далата.

Несколько слов о впечатлениях члена советской делегации, присутствовавшей на торжественном пуске далатского реактора весной 1984 года. Тогда страна ещё не до конца оправилась от тяжелейшей войны. Бросалась в глаза разница между Севером и Югом: бурлящей и явно налаженной жизнью в столице – Ханое и пока ещё довольно мрачной – в Сайгоне, уже ставшем Хошимином. Например, один из его крупнейших заводов – металлообрабатывающий – работал только три часа глубокой ночью. В стране остро не хватало энергии.

Нам довелось даже поучаствовать в одной непростой социальной проблеме. В условиях острой нехватки продовольствия в стране действовал строгий закон – всем поровну. Но правительство вынуждено было слегка отступить, когда начались голодные обмороки у военных лётчиков. Нашу делегацию принимал член Политбюро ЦК компартии Вьетнама (отношение к советским людям вообще и, уж конечно, к атомщикам, было самым уважительным), и мы, имея соответствующее поручение, попытались объяснить, что в спецпайках нуждаются не только лётчики, но и операторы ядерных установок. Вот такое было время.

Осталось вспомнить ещё один штрих российско-американского сотрудничества, коснувшийся и реактора в Далате. Ещё с 1978 года американское правительство, крайне озабоченное распространением в мире высокообогащённого урана, инициировало программу перевода исследовательских реакторов на низкообогащённое (менее 20% по урану-235) ядерное топли-

во. Ведь основное потребление высокообогащённого урана в гражданских целях осуществлялось именно в этих реакторах. С 1993 года между Россией и США началось сотрудничество, затронувшее реакторы разных стран, снабжавшиеся российским ядерным топливом. В рамках этой программы высокообогащённое топливо далатского реактора (36% по урану-235) в 2011 году было заменено низкообогащённым, а в 2013 году облучённое топливо было успешно вывезено домой, в Россию, на перерабатывающий комбинат «Маяк». Остаётся надеяться, что российско-американское сотрудничество в области мирного использования ядерной энергии переживёт «смутное время» и будет только развиваться, пусть и не в столь драматических формах, какие описаны в этих заметках. Ведь это нужно им и нам, да и всему миру.

Здесь, может быть, уместно добавить, что автору довелось довольно много участвовать в советско- (потом российско-) американском ядерном сотрудничестве. Кроме уже упомянутых совместных критических экспериментов, это и научные встречи в четырёх американских национальных лабораториях, включая знаменитый Хэнфорд. Надо сказать, что откровенные дискуссии между российскими и американскими экспертами о состоянии и перспективах сотрудничества в ядерно-энергетической сфере не прерывались никогда. Кстати, последняя и далеко не первая, в которой довелось участвовать, – с известным американским экспертом, профессором Эрнестом Монизом, бывшим министром энергетики США, состоялась в 2018 году.

Из собственных «деяний» запомнился впоследствии опубликованный в «Nuclear Safety» («Ядерная безопасность») доклад 1988 года «Чернобыль сегодня» на сессии ежегодного собрания Американского Ядерного общества, посвящённой урокам аварии на АЭС «Три-майл». Своей находкой считаю встреченную хохотом первую фразу: «Думаю, вы согласитесь, что расстояние между Чернобылем и США где-то около трёх миль». Посчастливилось поучаствовать и в уникальном проекте Е.П. Велихова – сов-



Эвакуация американского посольства из Сайгона в апреле 1975 г.

Как эвакуировали ядерное топливо из Далата, можно только представить

местном докладе Курчатовского института и Гарвардского университета «Обеспечение безопасного, надёжного и мирного роста ядерной энергетики: дальнейшие шаги России и США» (2010 год). Из многочисленных взаимодействий с американскими специалистами запомнились встречи на разных континентах с исключительно активным профессором и писателем Аланом Валтаром, который, будучи президентом Американского Ядерного общества, в тяжёлый для нас 1992 год организовал через океан гуманитарную помощь российским атомщикам. Также осталась в памяти обаятельная Сьюзен Эйзенхауэр, видный научный эксперт в энергетической сфере и внучка президента США, отметившегося в ядерной истории знаменитым докладом в ООН «Атом для мира» (1953 год): «Мы никогда не скажем, что народ СССР является врагом».

Отвлекусь на эпизод, давший мне какое-то представление, каков американский народ «внутри». Мы двигались по низменной долине реки Колумбия на северо-западе США. Узкая дорога была проложена по высокой насыпи. Подвозил нас на своём длиннющем «кадиллаке» немолодой профессор явно ирландских кровей. Он эмоционально вещал что-то очень научное и в итоге съехал на крутую обочину, где «кадиллак» намертво застрял под довольно сомнительным углом. И тут мимо промчался маленький пикапчик с огромной катушкой кабеля. Его команда была очень запоминающейся: огромный латинос и маленький сухонький негр. Пролетев мимо нас метров на двести, пикап остановился и с такой же скоростью рванул назад. Далее всё развивалось молниеносно. Они не произнесли ни одного слова, не улыбнулись и даже, кажется, не посмотрели на нас, хотя зрелище было заметное – ну ладно смущённый белый собрат, но ещё трое непонятных личностей в несусветных костюмах (представляете, как предписывалось одеваться советским визитёрам американского атома). Быстро вытащили трос, выдернули «кадиллак» на



Облучённое топливо далатского реактора загружается в российский самолёт АН-124-100, 2013 г.



Встреча с С. Эйзенхауэр на конференции в Великобритании, 2006 год

дорогу и улетели на свою стройку. Всё-таки прав был мой отец, когда после победных встреч в Берлине утверждал, что американцы сродни русским, в чём категорически отказывал англичанам.

Автор вынес глубокое убеждение, что два народа-основателя атомной эры просто обречены на мирное ядерное сотрудничество, и никакие сиюминутные политические факторы ничего с этим сделать не смогут.

КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ АКАДЕМИКА АЛЕКСАНДРОВА

Анатолий Петрович Александров был назначен директором Института атомной энергии им. И.В. Курчатова в феврале 1960 года. К этому времени его, пожалуй, главное детище – первая советская атомная подводная лодка – уже плавала, атомный ледокол «Ленин» был принят в промышленную эксплуатацию. Атомный флот стал делом его жизни, и академик Александров был признан его отцом. Но мне хотелось бы рассказать об Институте под руководством А.П. Александрова (а это двадцать восемь лет) то, что я хорошо знал. А о флотских делах мы всерьёз поговорили только однажды, и этот разговор уже описан.

Теперь о других работах огромного многофункционального Института. Но сначала надо объяснить, откуда у инженера маленькой закрытой лаборатории взялись знания о целом институте. Для нынешнего поколения понятия «партийная организация» и «партийный комитет» ассоциируются с системой внедрения идеологии и даже аппаратом принуждения. «Политическое просвещение», обязательное участие в демонстрациях 1 мая и 7 ноября, десантирование учёных «на картошку» (вспомните «Гараж») и, конечно, разбор бессмертных заявлений «мой муж негодяй, верните мне мужа» – куда же без всего этого. Кстати, о возможности пожаловаться в партком до сих пор настальгируют курчатовские ветераны.

Всё это было, но надо прямо сказать: в идеологической сфере Курчатовский институт сильно отличался от «окружающей среды». Не то что районные, но и московские партийные власти с осторожностью относи-

лись к учреждению, директором которого был член ЦК КПСС и президент АН СССР, а секретари парткома были постоянно вхожи в оборонный отдел ЦК (сейчас он называется Администрацией Президента и расположен всё там же). Так что иезуитские аргументы: «Вы же понимаете, наши учёные находятся на переднем крае общения с Западом и обязаны быть всесторонне идеологически вооружены – а как это можно сделать без приглашения выставки такого-то опального художника, просмотра такого-то запрещённого спектакля и т.д., и т.п.» – хоть и с зубовым скрежетом, но принимались. В итоге клуб Курчатовского института (ныне Дом учёных им. А.П. Александрова) был хорошо известен всей свободомыслящей Москве и уж точно – притесняемой художественной эlite. Я почему-то хорошо запомнил выступление у нас «неразрешённого» Михаила Жванецкого. Не понимаю, как тогда не рухнули балконы нашего клуба. Выражение «спорить о вкусе устриц с теми, кто их ел» с тех пор запомнил навсегда.

Но главное всё же не это. Двум гениальным (по моему убеждению) секретарям партийного комитета, впоследствии членам Академии наук Николаю Алексеевичу Черноплёкову и Валерию Алексеевичу Легасову (кстати, он пришёл в партком как председатель комиссии по научной организации труда), разумеется, с опорой на вольнолюбивый дух знающих себе цену курчатовцев, удалось создать то, что через тридцать лет, в «лихие девяностые», назвали вторжением в политику «завлабов». Только у нас это было превращение партийной организации в «научный лифт», дающий трибуну талантливым людям с их новыми идеями и заставляющим власть себя слушать. Это могло существовать только при мудром руководителе. Именно таким и был Анатолий Петрович с его громадным авторитетом, глубинным знанием механизмов научной политики и бесконечным терпением к «инакомыслию». Здесь стоит привести свидетельство П.А. Александрова*. В домашнем разговоре о преимуществах двухпартийной системы Анатолий Петрович сказал, что «у нас, конечно, однопартийная система, но всё время ощущается соперничество между партийными структурами и правительством. Это соперничество в общем-то полезно, оно заставляет обе стороны скорее крутиться и является слабым аналогом двухпартийной системы». В какой-то момент («по наводке» В.А. Легасова) вериги партийного руководства в Курчатовском институте были возложены на автора, откуда и знание «изнутри», как работал Институт и его директор в годы, признанные застойными.

* П.А. Александров. Академик Анатолий Петрович Александров. Прямая речь. – М: «Наука», 2002.

Теперь приведу, наверное, исторически первый факт из области «партийного вклада» в науку в Курчатовском институте. В начале 1960-х годов академик Александров выступает с активной поддержкой работ по технической сверхпроводимости. В Институте создаётся большой Отдел физики твёрдого тела и сверхпроводимости. Так вот, у истока этой активности – действия курчатовского парткома и его секретаря Н.А. Черноплёкова. Это направление успешно развивается и в сегодняшнем Курчатовском институте в рамках крупномасштабного государственного проекта по использованию высокотемпературных сверхпроводников и устройств, работающих на их основе.

Что касается эпопеи развития «большой» ядерной энергетики, нисколько не пытаясь преувеличить «партийный вклад» в это огромное дело, всё-таки скажу, что заседания парткома с этой повесткой всегда были событием. В них участвовали все ведущие специалисты Института (и не только), руководители отрасли и обязательно сам А.П. Александров, хотя это всегда было проблемой из-за его тысячи обязанностей. Часто всё это переносилось по несколько раз, но зато у «второго слоя» атомной науки (а заседания готовились всегда комиссией «молодых») была возможность дать «первому слою» услышать всё то, что предлагают в качестве научной политики «завлабы».

К сути дела мы ещё вернёмся, а пока небольшое отступление. Надо сказать, что Анатолий Петрович всегда с большим уважением относился к партийной организации, что, впрочем, не мешало ему при необходимости корректно, но твёрдо ставить на место отдельных её представителей. Хорошо помню небольшой эпизод из уже перестроенных времён. В нашем микрорайоне решили построить магазин. Разумеется, у этой идеи, как и у всех подобных, нашлись стойкие противники (они и сейчас находятся у любой московской стройки): на этом месте росли три кустика. В партком полетела жалоба: народ лишают замечательного парка, надо магазин передвинуть в глубь застройки. Я отнёсся к этому письму довольно легко-мысленно, только спросил наш ремонтно-строительный отдел о такой возможности. Мне ответили: нет, там слишком много коммуникаций. Я спокойно ответил отказом и думать об этом забыл. Но не тут-то было. И новая жалоба, и мой ответ легли на стол Анатолия Петровича. Я был приглашён «на ковёр» и исключительно вежливо допрошен, убедился ли я лично в том, что написал. Пришлось честно сказать, что нет. Хозяин кабинета как-то так посмотрел совершенно сквозь меня, что захотелось проползти под этим ковром к двери, и немедленно вызвал всё ремонтно-строительное руководство с чертежами микрорайона. Полтора часа президент Академии наук вместе со специалистами «перекладывал» коммуникации (кста-

ти, там как раз проходит «тёплая» труба из Института, о которой уже писалось) и, к моему тихому восторгу, возможности переноса магазинчика не нашёл. Он и сейчас стоит на первоначально задуманном месте. Теперь это популярная «Пятёрочка», но, заходя в неё, не могу не вспомнить те полтора часа моей жизни.

Конечно, в отношении своих близких и любимых учеников академик мог иногда позволить себе выпускать стрелы юмора, впрочем, совсем не обидного. Вспоминается гомерический хохот партийного собрания, когда один из талантливейших его соратников, руководитель целого направления и человек весьма своеобразный, «на голубом глазу» заявил: «А по этому вопросу я выступать не буду. Анатолий Петрович запретил мне болтать о том, в чём я ничего не смыслю».

Теперь о научных достижениях Института времён А.П. Александрова. Ещё Игорь Васильевич Курчатов заложил традицию, сохраняющуюся в течение всей нашей, уже семидесятилетней, истории. Это регулярное представление системных оценок места и роли энергии атома в мировой и отечественной энергетической перспективе.

На этом пути были яркие, запомнившиеся миру события. Такими были историческое выступление самого И.В. Курчатова в апреле 1956 года в английском научно-исследовательском центре в Харуэлле. Двенадцать лет спустя, в 1968 году, ядерно-энергетическая стратегия страны на длительную перспективу была представлена мировому сообществу А.П. Александровым в Генеральном адресе VII Мировому энергетическому конгрессу, состоявшемуся (первый и последний раз) в Москве. Прошедшие пятьдесят лет не поколебали того фундаментального стратегического прогноза.

Шла, разумеется, и «рутинная» работа по практически непрерывному анализу основных проблем и перспектив развития ядерной энергетики. В период 1975–1990 годов в институте были выпущены три экспертных оценки, все под редакцией А.П. Александрова. Конечно, был задействован большой коллектив сотрудников. Автору даже посчастливилось участвовать в одной из этих работ, о чём приятно вспомнить.



А.П. Александров на открытии Мирового энергетического конгресса, 1968 год



А.П. Александров поднимается на борт атомного ракетоносца Тихоокеанского флота, 1970 год

к 1993 году довести мощности АЭС до 100 млн. кВт. С ориентиром на этот гигантский уровень ядерной энергетики были начаты работы по развитию предприятий ядерного топливного цикла и атомного энергомашиностроения. Фактически, программа означала решение обеспечить весь прирост производства электроэнергии в Европейской части страны за счёт ядерных энергоисточников. Даже через сорок лет эти планы в три раза превышают достигнутое в России. Тогда реализовано было около 29 ГВт ядерных мощностей, заметная часть которых «ушла» в другие страны.

Курчатовские эксперты прекрасно понимали свою ответственность за научное обоснование программы 1980 года. Был выпущен фундаментальный отчёт «Перспективы развития и научно-технический прогресс ядерной энергетики». При его подготовке и выявились совершенно тупиковая проблема.

Было очевидно, что «одним из главных факторов, влияющих на долгосрочную программу развития ядерной энергетики, является соотношение между потребностями и ресурсами ядерного топлива» (фраза из упомянутого отчёта). С потребностями разобраться было сравнительно легко, но как быть с ресурсами? Разумеется, знание (и вполне надёжно оцененное) о ресурсах урана в стране существовало. Но оно (отчасти уже по традиции) считалось государственной тайной высшего приоритета, ведь это важная составляющая ядерного стратегического потенциала страны. Все робкие попытки получить из Средмаша хоть какие-то оценки пресекались с неумолимой жёсткостью.

Именно к этому периоду и относится почти забытая история, которая заслуживает того, чтобы её знали и другие поколения ядерных специалистов. В конце 1970-х годов в Советском Союзе готовилась амбициозная программа развития ядерной энергетики. Она была принята в 1980 году, как тогда полагалось, Постановлением Совета Министров СССР. То, что им предусматривалось, до сих пор выглядит как фантастика: ввод в 1981–1990 годах 67 млн кВт атомных мощностей с задачей

Вот тогда и родилась идея, которую не переводящиеся до сих пор в Курчатовском институте остряки обозначили афористично: «Бог коммунистов не обидел» (имелось в виду, хотя бы ураном). Суть её состояла в том, что на больших территориях (масштаба США, Канады или Советского Союза) с разнообразными геологическими условиями ресурсы дешёвого урана пропорциональны площади этих земель. Тогда, используя уже опубликованные к тому времени Геологической службой США данные об их ресурсах урана (видимо, американские власти уже не считали их особой тайной), можно было сделать соответствующую оценку для СССР.

Интересно, что эта оценка и её обоснования в отчёте были названы «гипотезой А.П. Александрова». Насколько я знаю, придумали это другие люди, но они предпочли «спрятаться за широкую спину» академика, против чего он отнюдь не возражал. Это было очень разумно, потому что любые шутки с государственной тайной в те времена сильно не поощрялись (да их не любят и сейчас). А усомниться в праве президента АН СССР высказывать какие бы то ни было гипотезы не могли никакие государственные органы.

Не могу отказать себе в удовольствии привести полученные по «методу подобия» оценки 1979 года. Со всеми полагающимися извинениями («лишь грубая ориентировочная оценка, требующая проверки и уточнений»), было выдано следующее: условно-достоверные расчётные ресурсы – 920 тыс. тонн, потенциальные расчётные ресурсы – 3450 тыс. тонн.

Трудно побороть желание сравнить результаты «гипотезы Александрова» с сегодняшними данными о ресурсах урана. Сделав самое простое – воспользовавшись так называемой Красной книгой МАГАТЭ и Агентства по атомной энергии ОЭСР «Уран: ресурсы, производство, потребление» за 2018 год* и сложив данные о ресурсах Казахстана, России, Украины и Узбекистана, получим результаты, совпадающие с оценками 40-летней давности в пределах 5%. Согласитесь, что это не может не восхищать и отнюдь не опровергает смелое предположение об отношении всевышнего к коммунистам.

Теперь о новых направлениях ядерной техники, энергично развивавшихся под руководством А.П. Александрова в Институте в период «застоя» – не сумевшего, впрочем, прорваться в атомную отрасль. Одним из настойчиво продвигаемых направлений 1970–1990-х годов были высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы. Стартом этого направления для гражданского использования в мире можно считать 1965 год, когда в Европе был построен первый такой реактор, Dragon. Высокотемператур-

* Uranium 2018. Resources, Production and Demand. IAEA, OECD/NEA, №7413, 2018

ные реакторы работали в Германии и США вплоть до конца 1980-х годов. Однако для ядерных ракетных двигателей сугубо закрытые работы по газографитовым реакторам в США и СССР начались ещё в 1950-х. Задание на экспериментальный реактор, названный ИВГ-1, было утверждено в 1965 году, конечно, А.П. Александровым. Этот уникальный аппарат был пущен в 1972 году на Семипалатинском полигоне с рекордной температурой выбрасываемого водорода в 3000 К.

Разумеется, Анатолий Петрович прекрасно знал состояние «оборонной» части проблемы, продвигая и «мирное использование» высокотемпературных реакторов для придания нового качества ядерной технологии – внедрения её в энергоёмкие отрасли промышленности, а это и расширенное применение «ядерного» водорода, и реализация высокоэффективных циклов когенерации тепла и электроэнергии, и многое другое. Дело продвинулось довольно далеко: были разработаны проекты высокотемпературных реакторов в широком диапазоне мощностей от 200 до 2500 МВт (тепловых). Некоторые из них были близки к реализации. Важная роль в развитии этого направления принадлежит ОКБМ «Африкантов». Увы, эта перспектива в нашей стране (но не в Китае) до сих пор находится опять-таки на «листке ожидания».

Другое, к сожалению, основательно забытое всеми (разумеется, кроме Китая) направление – одноцелевые атомные станции теплоснабжения, доведённое до практического сооружения головной станции. Этой, по моему убеждению, трагической странице «ядерной жизни», посвящена отдельная глава.

По-видимому, в наши дни близко к возрождению ещё одно новое направление тех лет – водородная энергетика, для которого в нашем Институте утвердилось название «атомно-водородная энергетика». Анатолий Петрович очень много сделал для его развития, поручив, по словам начальника созданного отдела водородной энергетики В.Д. Русанова*, повседневный контроль В.А. Легасову. Основными проектами этого направления стали ядерно-металлургический комплекс на Кольском полуострове с восстановлением руды водородом и, несколько позднее, плазменная переработка сероводородосодержащих газов. Сейчас уже можно упомянуть и ещё об одном интереснейшем проекте авианосца «Икебана», производящего водород для заправки самолётов. Надо сказать, что Анатолий Петрович готовил «широкий прорыв» на флоте для атомно-водородной энергетики. Но во все эти проекты вмешалась перестройка с последующим развалом Союза.

* А.П. Александров. Документы и воспоминания. – М: ИздАт, 2003. – С. 202–204.

Кстати, стоит сказать, что атомно-водородная энергетика была одним из «пряников», которым заманивали в Институт восходящую звезду перестройки – нового секретаря Московского горкома Б.Н. Ельцина. Побывав «заскочить в обед на часок», он покинул нашу площадку в 2 часа ночи, потратив не один час только на «Икебану». Знание президентом России Курчатовского института не понаслышке потом, в трудный час, очень пригодилось.

Не могу не упомянуть ещё об одном интересном начинании, отнюдь не списанном «в архив». В 1978 году в главном атомном журнале страны – «Атомная энергия» была опубликована статья многих авторов, главными из которых были Е.П. Велихов и Б.Б. Кадомцев. Называлась она «Гибридный термоядерный реактор-токамак для производства делящегося вещества и электроэнергии». Как впоследствии выяснилось, это было научное обоснование идеи 1951 года (высказанной И.В. Курчатовым в совершенно секретном письме «наверх») о производстве ядерных материалов с помощью предложенного А.Д. Сахаровым и И.Е. Таммом «магнитного термоядерного реактора». Сегодня это одна из задач будущего в «Стратегии ядер-



Очередной «высокий» визит. Первый секретарь МГК КПСС в Курчатовском институте, 1986 год. Слева направо: А.Ю. Гагаринский, Б.Н. Ельцин, А.П. Александров, А.И. Земсков, П.В. Сапрыкин, В.А. Легасов, Е.П. Рязанцев



А.П. Александров и заместитель
председателя Совмина СССР
Б.Е. Щербина, Чернобыль, 1986 год

ной энергетики России» выпуска 2018 года*. Конечно, этот перечень новых идей того периода можно было бы продолжать долго.

Чернобыль стал огромным ударом по всей ядерной энергетике, многим нашим начинаниям и лично по Анатолию Петровичу Александрову. «Перестроечные» общественное мнение и средства массовой информации быстро сделали «героем Чернобыля» его молодого талантливого заместителя, что было вполне справедливо, а затем превратили В.А. Легасова чуть ли не в единственного учёного в Чернобыле, что уже было просто стойким мифом, упорно сохраняющимся до сих пор. Ирония судьбы состояла ещё

и в том, что он «проходил» на это звание по важному параметру – не мог нести моральной ответственности за причины Чернобыля, поскольку, будучи химиком по специальности, ядерными реакторами до этого практически не занимался. Здесь я считаю себя обязанным сказать вслух то, что люди, знающие цену чернобыльской мифологии (их пока ещё осталось немало), стараются обходить стороной. Нежданная слава жестоко отомстила Валерию Алексеевичу. Он взлетел на гигантскую высоту – его узнали страна, мир, Политбюро. Спускаться оказалось невыносимым.

С первого дня в Курчатовском институте как бы «автоматически» возник антикризисный штаб, или мозговой центр, прямо в кабинете директора А.П. Александрова. В него вошли практически все ведущие специалисты института – и реакторщики, и «страшно далёкие от реакторов» ядерные физики, термоядерщики, лазерщики, химики. Именно здесь, под внешне спокойным и так хорошо знакомым всем курчатовцам бесконечно требовательным («до последнего винтика») аналитическим взглядом Анатолия Петровича непрерывно «переваривалась» вся, сначала очень скучная, информация «с фронта», и находились решения, немедленно проводимые

* Стратегия развития ядерной энергетики России до 2050 года и перспективы на период до 2100 г. – М: ГК «Росатом», 2018.

в жизнь. В этом «штабе» бывали и руководители отрасли: Е.П. Славский, Л.Д. Рябев и многие другие. Сам восьмидесятичелетний академик неоднократно прилетал в Чернобыль.

На него же дружно возложили роль главного виновника – с именем академика Александрова в ядерной энергетике связывали всё – и достижения, и поражения. Анатолий Петрович никогда не снимал с себя ответственности за аварию, но безуспешно пытался добиться справедливости и в профессиональной (что в конце концов произошло), и в общественной (что вряд ли произойдёт) оценке причин случившегося.

Смотреть на это было просто больно. Я помню выступление А.П. Александрова по чернобыльской проблеме в Академии наук ещё советской Украины. Наша делегация там должна была играть роль даже физической защиты. При всей лояльности украинских академиков в зал прорвались обезумевшие тётки с криками: «Убийца наших детей!». Травля со стороны «демократической» прессы не заслуживает описания.

Такого удара Анатолий Петрович пережить не мог, замкнулся в себе, довольно нейтрально относился к развернувшейся борьбе за главенство в его Институте ещё до того, как в конце 1987 года попросил освободить его от обязанностей директора. Мне кажется, он с облегчением принял назначение директором Курчатовского института талантливого академика Е.П. Велихова, уже знаменитого своим проектом Международного термоядерного реактора. Кстати, это назначение в те времена должно было сопровождаться идиотской процедурой выборов «трудовым коллективом». На них за «альтернативную» кандидатуру из нескольких сот участников проголосовали, по памяти, четыре человека.

Последние годы жизни дались Анатолию Петровичу нелегко, но он всегда пользовался поддержкой, особенно моряков, не бросивших «отца их флота». Встречи с людьми моря были для него очень дороги и давали новые силы. Так сложилось, что я не раз принимал в них участие.

Запомнились небольшие посиделки в кают-компании стоящего на приколе в Мурманске атомного ледокола «Ленин». В конце 1980-х Анатолий Петро-



А.П. Александров, Чернобыль,
1987 год



Анатолий Петрович на капитанском мостике ледокола «Ленин» с капитаном Б.М. Соколовым, 1989 год

вич встретился там со своим давним знакомым, одногодком, бывшим начальником Главсевморпути и министром морского флота СССР, Александром Александровичем Афанасьевым. Рассказ, который я тогда услышал, казалось бы, далёк от нашей темы, но он так живо передаёт дух того далёкого времени, в котором жили и работали эти люди, что я просто обязан его пересказать.

Декабрь 1944 года. Как обычно, далеко за полночь окончилось правительственное совещание в Кремле, и участники побрали отдохнуть,

благо это было рядом, в гостиницу «Москва». В этот момент Сталину что-то не понравилось в итогах обсуждения, и он приказал их вернуть. Быстро вернули всех, кроме молодого заместителя морского наркома. Вождь удивился: куда здесь можно деться? Забегали всерьёз, и вскоре бледный Афанасьев был доставлен в кабинет – его обнаружили просто стоящим на площади перед гостиницей. По-видимому, слегка раздосадованный задержкой руководитель совещания спросил довольно строго: «Ты что там делал?». Афанасьев понял, что его не спасёт ничто, кроме правды. «Товарищ Сталин, я шёл в гостиницу и увидел, что на площади наряжают новогоднюю ёлку. Я вдруг понял, что война кончается, и задумался...». Хозяин кабинета тоже немного подумал и начал диктовать секретарю: «Телеграмма. Секретарям ЦК, обкомов, горкомов... К 31 декабря установить на центральных площадях всех городов и посёлков новогодние ёлки. Люди должны видеть, что война кончается...». Меня водили на одну из этих ёлок. Кажется, она стояла в саду «Эрмитаж», была высоченной и невероятно прекрасной, эта первая новогодняя ёлка в моей жизни.

Память о втором директоре сохраняется в Институте так же трепетно, как и о его основателе. Ежегодных «Александровских чтений» – обзора достижений той науки и техники, которой посвятил свою жизнь Анатолий Петрович, ждут и курчатовцы, и сотрудники отрасли, и моряки обоих флотов – военно-морского и гражданского.

ЧЕРНОБЫЛЬ СВОИМИ ГЛАЗАМИ

Мы сидели с первым заместителем директора Курчатовского института В.А. Легасовым на партийно-хозяйственном активе в Министерстве среднего машиностроения. Было утро выходного дня 26 апреля 1986 года. Тогда подобные мероприятия в нерабочий день как раз входили в моду. Министр Е.П. Славский долго рассказывал об успехах отрасли и вскользь упомянул об инциденте на Чернобыльской АЭС. Вскоре Валерия Алексеевича позвали к руководству. Через какое-то время он вернулся и сказал: «Езжай в институт один, я улетаю в Чернобыль». Вернувшись, я позвонил нашему ведущему специалисту по реакторам РБМК Е.В. Бурлакову: «Что за авария произошла на Чернобыльской АЭС?». Еле узнал его голос: «Андрей, это не авария, это – катастрофа». Так в мою жизнь вошёл и навсегда остался в ней Чернобыль.

26 апреля началась «вахта курчатовцев» у разрушенного реактора. Не-легко перечислить имена всех семисот курчатовцев, работавших в Чернобыле. Но первопроходцев, прилетевших в Чернобыль в самые трудные первые «десять дней, которые потрясли мир», когда шла борьба с радиоактивным выбросом из реактора, назвать можно и нужно. Это В.А. Легасов и В.А. Сидоренко – 26 апреля, А.К. Калугин и В.М. Федуленко – 27 апреля, Е.П. Рязанцев – 1 мая, Е.П. Велихов – 2 мая.

Нет нужды говорить, что был отмобилизован весь институт (уникальные возможности национального ядерного центра в чрезвычайных ситуациях – один из важных уроков Чернобыля), все его небольшие по сегодняшним, но огромные по тогдашним меркам вычислительные возможности. Когда было надо, стремительно ставились эксперименты.

В знаменитом советском докладе мировому сообществу об аварии на Чернобыльской АЭС, сделанном в МАГАТЭ в августе 1986 года (а из 23-х его авторов – 14 сотрудников Курчатовского института), даже с высоты сегодняшних знаний нет необходимости что-либо заметно «корректировать».

Курчатовцу, сделавшему этот доклад в МАГАТЭ, В.А. Легасову – надо сказать, не только талантливому учёному, но и, как уже писалось, гениальному организатору, – принадлежала оказавшаяся весьма эффективной идея создания при Правительственной комиссии в Чернобыле научной группы экспертов-курчатовцев. Первым её руководителем он, естественно, и стал. Эта связка – учёные в Чернобыле, учёные в Москве – работала в непрерывном контакте весь «незабываемый 1986-й». Руководители этой группы, естественно, менялись по мере «накопления допустимой дозы». Моя очередь пришла в сентябре.

Не стоило писать о Чернобыле, если не поделиться с читателем воспоминаниями очевидца. Прежде всего, это понимание того, что такое война. Для одного из московских «детей войны» (пять лет в День Победы) она существовала всегда, оседая в детском сознании сначала огромными аэростатами, перемещаемыми по московским улицам, потом бесконечной колонной пленных, бредущих мимо нашего дома по Садовому кольцу.

Теперь мне стало ясно, каким был «передний фронт». Бесконечно движущиеся транспортные колонны одинаково одетых людей с какой-то «особой печатью» на лицах. Их доставляют в эпицентр, наиболее заражённую радиацией зону вокруг разрушенного реактора, потом увозят отды-



Дружная команда вертолётчиков и курчатовцев

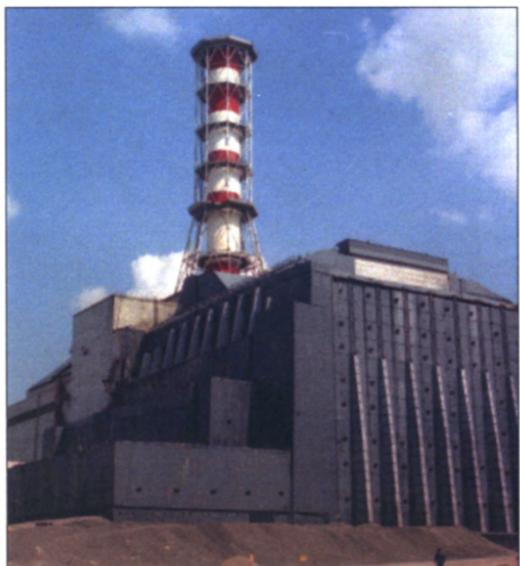
хать туда, где почище. Их место занимает новая смена. Задача, по существу, одна: ограничить, локализовать последствия страшного взрыва («ликвидировать» их невозможно, хотя это слово навсегда «пристало» к чернобыльцам). Это строительство «Саркофага» вокруг четвёртого блока Чернобыльской АЭС и бесконечная, изнурительная дезактивация. Кстати, и в том, и в другом курчатовский опыт пригодился. У нас же на этой войне в «мою смену» была роль фронтовой разведки. В условиях фантастической стройки, когда человеку нельзя подойти к строящемуся объекту, было необходимо как-то сохранить связь между установленными нашими предшественниками с вертолёта датчиками и диагностической аппаратурой. Для этого надо было бегать или ползать по подреакторным помещениям (их фантастическое сходство с гениальным фильмом-предсказанием Тарковского сделало слово «сталкер» неотделимым от Чернобыля), борясь со строителями, то и дело пытающимися перерубить наши кабели, и восстанавливать их, когда это удавалось.

Мы страшно боялись, что изменяющееся по мере строительства укрытия состояние застывших масс ядерного топлива (температура, влажность, воздушные потоки и т.п.) может привести к так называемой «вторичной критичности» – неожиданному возникновению цепной реакции деления, топлива для этого было более, чем достаточно. К счастью, этого не произошло.

Ещё одна примета войны – жёсткое боевое управление. Оперативный штаб – правительенная комиссия под обязательным руководством заместителя Председателя Совмина СССР. Ежедневная оперативка – суровое испытание. Довелось видеть, как пожилой генерал-лейтенант едва не превратился в генерал-майора за не поставленный вовремя вагон с обмундированием. К «научникам» обращались чуть мягче по тону, но без всякого снисхождения. От них требовались чёткие ответы на чёткие вопросы.



Установленные с вертолётов диагностические буи в развале центрального зала, лето 1986 года



«Саркофаг», 1986 год

Из личного опыта: в самый горячий период строительства «Саркофага» возникли сомнения в проектном решении – покрыть крышу слоем свинца для ослабления рассеянного излучения. Этоказалось необходимым, но было страшно опасно для самого сооружения – сотнтонная конструкция опиралась на разрушенные стены, прочность которых была неизвестна, и свинец мог её «доконать». Полёты над реактором давали «пищу» расчётам, которые шли в Москве день и ночь. И в нужное утро руководитель курчатовской группы имел в руках цифры, доказывающие, несмотря на

жёсткое давление правительственной комиссии, что от свинца можно отказаться. «Саркофаг» стоит до сих пор.

Наконец, война – это потери. Не от радиации, она скажет своё слово потом. Наш вертолёт совершил рутинный полёт над реактором – это были, как всегда, измерения гамма-полей. Чуть ниже и в стороне, над крышей машинного зала, другой вертолёт возил бак с дезактивирующим раствором. Он задел винтом гак подъёмного крана, рухнул и мгновенно сгорел вместе с экипажем. После этого «выбить» вертолёт из авиационного начальства несколько дней было трудно. Потом всё встало на свои места, и работа продолжилась.

Самые большие потери в реальности были от аварий на узких дорогах, испытывавших чудовищные нагрузки, да ещё в условиях аварийной мобилизации огромного числа не всегда опытных водителей. Кстати, дорожное приключение едва не стоило жизни и автору этих строк. Правительственная комиссия, конечно, не ночевала в Чернобыле, она уезжала в милый украинский городок с ласковым названием «Иванков». Возвращаясь туда ночью, уже на пустынной дороге, водитель чудом увернулся от огромного рогатого хозяина местных лесов, которому понравилось стоять на ещё тёплом асфальте.

Здесь уместно сказать пару слов о том, почему Иванков с его белыми мазанками был для меня не чужим. В чудом сохранившемся паспорте мо-

его русского деда, как тогда было положено, нет графы «национальность». Тогда писали просто «православный». Зато значится: «званіе лекарь», а также «состоить земскимъ врачомъ б-го участка Гадячского уезда Полтавской губ.». Ему было тогда 27 лет. Он женился, естественно, на украинке, и мой отец был одним из его пятерых детей. Погиб дед «на боевом посту» – в 20-е годы спасал крестьян от тифа, заразился и умер. После войны, году в 50-м, папа поехал «на малую родину» в село Петровка и нашёл там людей, сохранивших светлую память о своём земском враче. Это о связях русских и украинцев, не говоря уже о десятках миллионов таких же, как я, «полукровок». Иногда мне кажется даже милосердным, что папа и его лучший боевой друг родом из Черновцов не увидели сегодняшней «дружбы народов».

Природа, внезапно освободившаяся от давления людей, – это совершенно особая история. Американцы любят описывать, какими оазисами для их не такой уж богатой живности стали небольшие территории вокруг атомных электростанций, всё-таки не подпускающих к себе людей совсем уж близко. Что же говорить об огромной по этим меркам «освобождённой» от людей тридцатикилометровой зоне, ранее бывшей густонаселённым районом в сотне километров от столицы Украины. Почему-то очень запомнилось, как мы, не торопясь, ехали по вечернему, совершенно пустому Чернобылю. А перед нашей машиной, не обращая ни малейшего внимания на эскорта, так же лениво трусила раздобревшая лисица, видимо занятая буридановой проблемой: в каком из оставленных людьми на её попечение курятников сегодня поужинать.

И ещё одно, что хотелось бы донести читателям из того уже далёкого, но незабываемого времени. В тех действительно боевых условиях удивительно быстро возникало «чувство локтя», дружеское единение людей, которое, увы, не часто достигается в «мирной» жизни. Очень тепло вспоминаю замечательного физика из Пахры Александра Дыхне. Не забуду эпизод, как, перемещаясь по Чернобылю, мы с Сашей обсуждали непростую проблему. Надо было, как всегда срочно, измерить распределение дозы гамма-излучения на поверхности только что уложенной на возведённые стены «Саркофага» крыши из стальных труб. Крыша большая, бегать с дозиметром невозможно – дозы нечеловеческого уровня. Опускать что-то с вертолёта – тоже затратно по дозам и неэффективно. Озарила (его, а не меня) валявшаяся посреди улицы панцирная сетка от кровати. Быстро договорились со строителями, сварившими большую сетчатую раму, на ней разместили ТЛД – термолюминесцентные детекторы излучения (в народе их называли «тэлды»). Потом огромный немецкий кран ДЕМАГ несколько раз опускал этот агрегат на крышу и через нужное время возвращал исследователям для снятия показаний и перезарядки. Задача была решена.

У этой истории оказалось интересное продолжение. В конце 2018 года один из коренных курчатовцев, потом большой начальник в Росатоме В.Г. Асмолов подарил автору книгу своих воспоминаний. Мы долго работали рядом и подружились задолго до Чернобыля, в «горячей точке» провели вместе немало дней, да и сейчас трудимся «в одной упряжке». Но только через три с лишним десятка лет я узнал, что у наших «кроватных» экспериментов были последователи. Подобная исследовательская «техника» была применена и на крыше третьего блока месяцем позже. Только там требовался другой масштаб покрытия, и обошлись «всего лишь» простыней с теми же прикреплёнными дозиметрами. Всё-таки удивительная это профессия – экспериментатор!

Завершая тему воспоминаний, считаю необходимым сказать, что, как и многие коллеги, задавал себе вопрос, ответ на который, увы, особых сомнений не вызывает. Удалось бы добиться сколько-нибудь заметного успеха в этой «атомной войне», хоть как-то локализовать последствия аварии, «опоздай» Чернобыль на несколько лет? Не сомневаюсь, что те, кто помнит страну в начале «лихих девяностых», ответит так же, как и пережившие эту трагедию специалисты. Кстати, многие согласны и с результатом виртуального путешествия вспять по шкале времени. Случись это событие на несколько лет раньше, о нём знали бы столько же, сколько на протяжении тридцати лет – о тяжёлой радиационной аварии на Южном Урале в 1957 году, то есть ничего.

Однако оно произошло тогда, когда произошло, и даже через десятилетия размышления о его причинах и последствиях, которые не оставляют тех, для кого Чернобыль стал событием жизни, могут быть чем-то полезны для будущего.

Вряд ли нужно повторять сделанные наукой выводы о причинах Чернобыльской аварии. Специалисты практически договорились о технических деталях произошедшего. Как почти всегда бывает при больших авариях, дело свелось к сложению «человеческого фактора» с недостатками техники, которые по сути своей – то же фактор в виде «отложенного штрафа», результат ошибок или недостатка знаний у людей, когда-то эту технику создавших.

Вот здесь уместно вспомнить об одном обстоятельстве, часто остающемся в стороне при постчернобыльских обсуждениях. РБМК – это первый советский опыт запуска в серийное производство мощного реактора без предварительного физического моделирования и постройки реактора-прототипа малой мощности. Первый блок РБМК-1000 вошёл в строй в 1974 году, к 1981 году их было уже пять. Вспомним, что физический стенд РБМК появился в Курчатовском институте только в 1982 году. Столь быстрое вне-

дрение вскрыло проектные ошибки, последовал ряд довольно серьёзных инцидентов в 1970-х и, наконец, 1986 год.

Надежды на опыт эксплуатации промышленных уран-графитовых реакторов оказались несостоительными. У РБМК всё-таки другие физические характеристики, а именно они и определили катастрофический разгон.

Казалось бы, это уже можно и не вспоминать, если бы любовь «наступать на грабли» не сохранялась в умах и сердцах. Перескакивание через ступеньки, конечно, делается с благими намерениями, которыми вымощена столь известная человечеству дорога.

О том, что произошло в мире после Чернобыля, знает практически каждый. «Антиядерный каток» раздавил ядерную энергетику только в небольшом числе стран, но отбросил её назад практически во всём мире. Разумеется, наиболее тяжёлые последствия авария имела для ещё существовавшего тогда Советского Союза. Произошедшая через 25 лет тяжёлая авария в Японии (не цунами, смывшее восточный берег Хонсю и унёсшее жизнь двадцати тысяч человек, а именно разрушение АЭС Фукусима) имела примерно те же последствия, только в меньших масштабах, заодно подключив Азию к антиядерному движению. Всё это многократно описано.

По прошествии десятилетий, когда на Земле работает уже новое поколение людей, стоит остановиться на том, что Чернобыльская авария оставила человечеству надолго, если не навсегда. Давайте попробуем взглянуть в лицо фактам «без гнева и пристрастия» (*sine ira et studio*), хотя сам Тацит, по свидетельству историков, редко следовал своему правилу. Что уж говорить о последователях. Атомщики любят подчёркивать, что радиационные аварии на шкале катастрофических несчастий человечества занимают «привилегированное» положение, а их реальные последствия тысячекратно гипертрофированы. Но это не более чем обязательное условие восприятия миллионами людей любого глобального кризиса, так было и будет, и это просто надо учитывать в посткризисной жизни.

Как итог, тяжёлые аварии в «содружестве» с неприятием выбросов парниковых газов на долгие десятилетия сформировали «шкалу отношения» людей к источникам энергии. Вынужденная надолго определять мировую экономику искалеченная энергетика воспринимается как данность, по поводу её влияния на окружающую среду можно только ворчать. Зато люди искренне любят ветер и солнце и ещё долго будут готовы оплачивать их прерывистость и низкую плотность энергии. Ядерную энергию, столь же малоуглеродную, как и возобновляемые источники, зато базовую и энергетически эффективную, общественность готова терпеть в тех странах, где политики или жизненный опыт убежат её в необходимости мирного атома, или там, где власть не очень спрашивает мнение общественности. В целом

наш замечательный учёный Я.В. Шевелёв, обогативший атомную науку и технику множеством идей, оказался прав, когда в разгар послечернобыльской истерии не побоялся заявить, что объективно существует такой уровень развития ядерной энергетики, когда неумолимая экономика уже не позволит её остановить. Атомщикам остаётся только стремиться сохранить и расширить нишу ядерных технологий в мировой энергетике.

Есть и менее очевидные, но важные последствия тяжёлых ядерных аварий. После Чернобыля ядерная энергетика «обречена» на новый уровень международного сотрудничества на научно-техническом, торгово-экономическом и даже политическом уровне. Взаимоотношения политиков с ядерной энергетикой стали гораздо ответственнее, чем раньше, учитывать её специфику и долгдействие принимаемых в этой сфере решений.

Так, при драматическом снижении уровня российско-американских отношений сотрудничество в ядерной области сохранилось. Более того, непрерывно проверяются возможности возвращения старых и появления новых совместных программ. Состояние отношений России и Украины в ядерной области, несмотря на политическое давление руководителей нашего соседа, не снижается до неприемлемого для международной безопасности уровня. Политический кризис между Турцией и Россией (к счастью, кратковременный) не сумел «побороть» проект АЭС Аккую.



«Арка» над «Саркофагом», 2016 год

Ко всему этому можно относиться по-разному, но одна международная тенденция – явное повышение внимания к так называемым «странам-новичкам», только собирающимся приобрести ядерно-технологический опыт, заслуживает всяческой поддержки мирового сообщества.

Разумеется, для развивающихся стран неизбежны заботы о долговременной энергетической безопасности. Но нельзя сбрасывать со счетов и такой фактор, как стремление к приобретению научно-технического потенциала в ядерной сфере. Обладание ядерными технологиями – предмет не только национальной безопасности, но и национальной гордости. Не случайно в 2018 году к вступлению в ядерный энергетический клуб владельцев АЭС готовились пять стран: ОАЭ, Беларусь, Бангладеш, Турция и Египет. Надо сказать, что мировое сообщество следит за этим процессом весьма внимательно. Это касается и МАГАТЭ, где программа технической помощи – одна из самых затратных статей бюджета, и стран-поставщиков ядерных технологий, осознающих свою особую ответственность за безопасность ядерной энергетики.

Конечно, опыт первопроходцев содержал не только достижения. Однако не менее полезное знание, чего не надо делать, вошло в мировую копилку. И в этом тоже долговременный чернобыльский след в мировой энергетике.

АТОМНАЯ СТАНЦИЯ НА КРАСНОЙ ПЛОЩАДИ

Это «смелое» высказывание в разгар антиядерного бума «лихих девяностых» приписали А.П. Александрову, хотя ничего подобного он, конечно, не говорил. Просто, когда родившаяся ещё в 1970-е годы идея атомного теплоснабжения начала принимать реальные очертания, всерьёз заговорили о теплоснабжении Москвы от серии атомных станций за окружной дорогой. Справедливости ради обязан сказать, что сами создатели атомной станции теплоснабжения (АСТ) были очень осторожны относительно их размещения. Они прекрасно понимали, что способно загубить их детище на корню. Верхом журналистского перехлёста и было утверждение: «атом можно сделать настолько безопасным, чтобы поставить АСТ на Красной площади».

Сама идея атомного теплоснабжения базировалась на вполне понятных основаниях. В нашей северной стране на производство горячей воды и пара (так называемого низкотемпературного тепла) расходуется топлива в полтора раза больше, чем на производство электроэнергии. К тому же Россия – одна из немногих стран, где существует развитое централизованное теплоснабжение городов (рекордсмен здесь Исландия, благодаря геотермальной энергии).

Та же Москва, если кто не знает, снабжается теплом от более чем тысячи источников. Но при огромной мощности, которую потребляет столица (более 13 ГВт электроэнергии и 60 тысяч Гкал тепла в час), степень централизации теплоснабжения – 98%. В основном это мощные ТЭЦ – их полтора десятка. Например, район, где расположен Курчатовский институт, пита-

ется энергией от ТЭЦ-16, имеющей установленную электрическую мощность около 800 МВт и тепловую – более 1700 Гкал/ч. Это вполне сопоставимо с атомным блоком-миллионником, только работает на «отбираемом у экспорта» газе, а бывало, и на угольной крошки.

Понятно, что использование атомной энергии для получения низкотемпературного тепла сулило большие перспективы. Оставим пока в стороне блестящие идеи по использованию высокотемпературных реакторов для снабжения высокопотенциальным теплом энергоёмких технологических процессов (производства водорода, газификации угля и т.д.). К этому «подбирались» и в Европе, и в США, и в Советском Союзе.

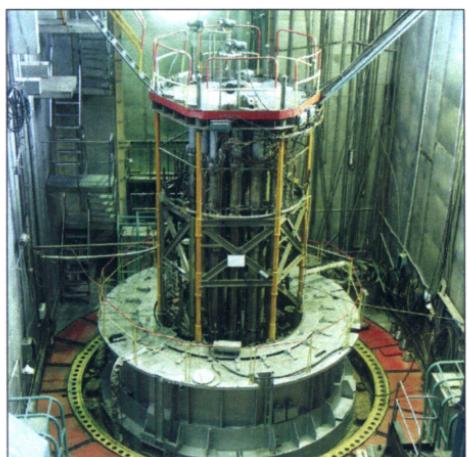
Сегодня строится единственная атомная станция с ВТГР. Кто хоть немножком с устройством атомного мира, сразу догадается, что это, конечно же, происходит в Китае, где не пропускают ни одной многообещающей ядерной технологии. Но мы пока говорим о более «приземлённой» идее бытового теплоснабжения.

Главная проблема здесь очевидна – в отличие от электроэнергии, горячую воду нельзя передавать на большие расстояния без потерь, лишающих этот процесс смысла. Конечно, теоретически дальняя (на 100–150 км) передача тепла с использованием химических процессов – возможна. Но это опять-таки технология для будущих ВТГР. Обычная же теплотрасса «сближает» источник и потребителя до расстояния в 25–50 км. Для атомного источника такое соседство резко повышает требования к безопасности.

Опыт атомного теплоснабжения в СССР был. Промышленные реакторы-наработчики оружейных материалов в Сибири должны были куда-то сбрасывать тепло. Ему нашли полезное применение. Так называемая Сибирская АЭС в Северске Томской области питала электроэнергией и теплом не только сам Северск, но и жилой массив в Томске. Подземный реактор АДЭ-2 на Красноярском горно-химическом комбинате с 1964 по 2010 год поставлял энергию в Железногорск.



Курчатовский институт снабжается энергией и теплом от ТЭЦ-16



Реактор ВК-50 (НИИАР), единственный в стране, охлаждаемый кипящей водой

Северо-Западе – 35%, в центре Европейской части – более 40%), далеки от учёта потребностей теплоснабжения крупных городов.

Общая концепция специализированного источника теплоснабжения АСТ, позволяющая экономить органическое топливо при значительном снижении выбросов продуктов сгорания в районах сосредоточения людей, была разработана в 1975–1978 гг. Как уже говорилось, зачинателем здесь, как и во многих других новых технологиях, был Курчатовский институт и его ведущие специалисты В.А. Сидоренко и И.Н. Соколов. Новые подходы к обеспечению безопасности атомных станций позволили разработать одноцелевую атомную станцию для низкопотенциального теплоснабжения. Научно-технической предпосылкой проекта АСТ-500 стал опытный энергетический водо-водяной реактор с кипящим теплоносителем и естественной циркуляцией – ВК-50, введённый в эксплуатацию в 1965 году и оставшийся единственным таким реактором в нашей стране. Высокая надёжность и простота его управления была подтверждена многолетним опытом эксплуатации. АСТ с двумя реакторами суммарной мощностью 1000 МВт позволяла удовлетворить потребность в тепловой энергии района с населением до 400 тысяч человек.

Были разработаны проекты АСТ-500 для Горького и Воронежа. Детальное изучение проекта и применённых технических решений (естественная циркуляция теплоносителя, интегральная компоновка, страховочный корпус, низкое (на порядок ниже, чем в ВВЭР) давление внутри корпуса и т.д.) экспертами 13 стран под эгидой МАГАТЭ подтвердили высокую безопасность установки.

Отбор пара от турбин атомных электростанций (в том числе и регулируемый, тогда такие турбины называют теплофикационными) давно применяется в ядерной энергетике. Например, уже первый блок с реактором РБМК, запущенный в 1974 году, снабжал тепловой энергией город-спутник АЭС – Сосновый Бор. Сегодня эта задача досталась «по наследству» блоку ВВЭР-1200 на Ленинградской АЭС-2. Однако принципы размещения АЭС, снабжающих электроэнергией большие регионы (доля ядерной электrogенерации на Средней Волге – 30%, на

Строительство двухблочной Горьковской АСТ началось в январе 1982 года (второго блока – с 1983 года) в нескольких километрах к востоку от городской черты Нижнего Новгорода (тогда ещё Горького) и было официально остановлено в декабре 1993 года, когда первый блок был практически готов к эксплуатации. Строительство Воронежской АСТ, также двухблочной, началось в 1983 и 1985 гг. (первый и второй блоки, соответственно) и было остановлено летом 1990 года.

Хотя выдвигались и технические доводы для принятия решений (неготовность сетей для приёма таких количеств горячей воды), реальной причиной остановки строительства была, конечно, волна антиядерных настроений в стране после аварии на Чернобыльской АЭС, активно подогреваемая политической конъюнктурой.

Интересно, что представителям Ядерного общества бывшего Союза, получившего от российского Министерства юстиции статус международного, довелось поговорить с человеком, окончательно закрывшим Горьковскую АСТ. Общество решило провести свою очередную научную конференцию в этом прекрасном городе. Основания для такого выбора были:



Горьковская АСТ – памятник антиядерным протестам



Недостроенная Воронежская АСТ

ческого небосклона новой России, и были им приняты. Мы предполагали, что ответ на наше обращение будет положительным. Кроме весомой поддержки уважаемых нижегородских организаций, было ещё одно обстоятельство, которое вполне можно назвать политическим.

В предыдущем 1992 году международная конференция Ядерного общества триумфально прошла в Таврическом дворце великого города на Неве. В её работе приняло участие более 800 человек, в том числе 150 зарубежных специалистов. Иначе и быть не могло. Это был период взрыва мирового внимания к ядерной науке и технике распавшегося Союза. Толпы иностранных специалистов буквально «ломились» на конференции ЯО, и мы просто обязаны были этому вниманию соответствовать. Открыл конференцию мэр Санкт-Петербурга А.А. Собчак. Как известно, Анатолий Александрович любил и умел выступать. К сожалению, текст его речи найти не удалось. Но в памяти осталось блестящее эссе, где были и петербургские традиции, и перспективы новой России, и, что особенно ценно для нас, редкое в те времена вполне лояльное отношение к атомной энергии, в сочетании с требованием её «полной безопасности», которое, увы, невозможно ни выполнить, ни отвергнуть. Атомная станция теплоснабжения была бы лучшим приближением к этому абсолюту.

Молодому нижегородскому политику было явно «не с руки» игнорировать пример своего «старшего товарища». Поэтому беседа состоялась. Перед посещением руководящего кабинета наша небольшая делегация –

Нижнем Новгороде работало сильное отделение Общества. Его костяк составляли специалисты одной из ведущих атомных организаций страны – Опытно-конструкторского бюро машиностроения и вузов с физическими факультетами. Что говорить, превращение атомной станции в ликёро-водочный завод также подогревало желание провести ядерную конференцию именно в этом городе.

Однако для такого крупного международного мероприятия была необходима поддержка местной власти. Вот мы и напросились на приём к нижегородскому губернатору – восходящей звезде полити-

президент ЯО, директор Южно-Украинской АЭС В.П. Фукс, «главный мотор» Общества С.В. Кушнарёв и ваш покорный слуга – договорились избегать неприятных тем, ведь наша задача была в другом. Тем не менее я не сдержался и спросил хозяина кабинета, почему он – физик по образованию – так отнёсся к блестящему достижению ещё советской науки и техники. Ответ, по сути, был очевиден всем участникам беседы, дело ограничилось слабым аргументом о состоянии горьковских теплосетей. Заручившись необходимым нам одобрением, обещанием помочи и поспешив откланяться, мы уже в дверях получили неожиданный подарок от губернатора, явно отреагировавшего на гражданство президента ЯО. Он поделился с нами своим весьма ярким мнением о тогдашнем президенте Украины и совсем уж неожиданно добавил: «а наш такой же». Но это явно не предназначалось для публикации, пусть даже через четверть века, да и к нашей истории отношения не имеет.

Обещания были выполнены. Нижегородская конференция (кстати, её темой была «Ядерная энергия и безопасность человека») прошла с большим успехом. В ней приняли участие около 600 человек, включая специалистов из шести республик бывшего Союза и 150 зарубежных специалистов из четырнадцати стран. Губернатор на конференцию не пришёл. Зато «пришёл» Генеральный директор МАГАТЭ Х. Бликс. Горьковской АСТ это, впрочем, не помогло. Она осталась жертвой антиядерных протестов. Таких на территории бывшего Союза было, к сожалению, немало. Другой яркий «атомный» пример – построенная на две трети Крымская АЭС, полностью решившая бы все энергетические проблемы полуострова.

Всё это особенно обидно ещё и потому, что использованные в проектах АСТ свойства самозащищённости реактора и пассивных систем аварийного теплоотвода в нынешнем веке составляют основу обеспечения безопасности новых поколений станций во всём мире. Эти и другие свойства реакторов АСТ – большие запасы теплоносителя в первом контуре, медленное протекание эксплуатационных и аварийных режимов, защищённость от падения самолёта и многое другое – стали неотъемлемой частью прогресса реакторов с водой под давлением, разумеется, и в нашей стране.

Совсем идея атомного теплоснабжения, конечно, не умерла. Её развитие российские специалисты связывают, в первую очередь, с реализацией, надо сказать, довольно многострадального проекта плавучей атомной электростанции (ПАТЭС). Но ему место в другой нашей истории. Большие перспективы мы видим в создании саморегулируемых атомных станций с термоэлектрическим преобразованием энергии. Они могут обеспечить диапазон тепловых мощностей 5–10 МВт, безусловно востребованный на просторах нашей очень северной страны.



Ещё один памятник «лихим девяностым» – недостроенная Крымская АЭС

Идею АСТ не могли пропустить наши китайские коллеги. Первый практический опыт атомного теплоснабжения они получили ещё в 1980-е годы, когда бассейновый реактор в институте INET университета Циньхуа был приспособлен для отопления. В 1989 году они запустили реактор NHR-5 мощностью 5 МВт (тепловых) как реактор теплоснабжения. На этой основе был спроектирован уже большой одноцелевой реактор NHR-200. Строить его, однако, не стали. В китайских планах – реализация проекта реактора DHR-400, по мощности сравнимого с нашей АСТ, также для целей теплоснабжения. Кстати, внутрифирменное название проекта переводится как «глотка дракона». Этот образ, как можно заметить, – самый любимый у китайских атомщиков. В 2017 году уже был испытан прототип реактора, который непрерывно генерировал тепло в течение недели. Так что расставания с идеей атомного теплоснабжения всё-таки не предвидится.

АТОМНЫЙ БУР ДЛЯ АНТАРКТИДЫ

На заседании Учёного совета Курчатовского института, посвящённом 90-летию со дня рождения выдающегося советского атомщика Бориса Андреевича Буйницкого, выступил один из его любимых учеников, ныне ведущий специалист по ядерным установкам с прямым преобразованием энергии, Евгений Петрович Каплар. Он рассказывал об идеях, рождённых в удивительной лаборатории Буйницкого, кажется, призванной доказать, что для ядерной энергетики ничего невозможного в принципе не существует.

Одной из таких идей было создание источника энергии для электропитания объектов, расположенных на дне Мирового океана. Требования к нему были предельно «простыми». Он должен был запускаться один раз и действовать до 10 лет в режиме саморегулирования без какого-либо обслуживания. Для решения этой, похожей на фантастику задачи Б.А. Буйницкий в соавторстве с А.Н. Проценко предложил ядерную установку с прямым преобразованием тепла саморегулируемого водо-водяного реактора в электричество, действующую без каких-либо движущихся механизмов и активных средств автоматики. Для проверки этой идеи в Курчатовском институте была создана экспериментальная установка. Её называли «Гамма», и она успешно работала пятнадцать лет. В результате был получен научный задел, который на современном уровне знаний в области материалов, позволяющих существенно повысить эффективность прямого преобразования, создал объективные перспективы развития этого направления. Но это другая история.

Оказывается, хотя об этом успели прочно забыть, ядерная установка описанного принципа была предложена и могла быть применена для ре-



Реактор РМ-ЗА на американской базе «Мак-Мёрдо» в Антарктиде

шения уникальной задачи, которую предложила людям Антарктида. Но сначала немного вспомним историю применения атомной энергии на самом южном континенте Земли. Вступивший в силу в 1961 году Договор об Антарктике запрещал не использование там ядерных установок, а только «любые ядерные взрывы и удаление в этом районе радиоактивных материалов».

Ядерный реактор в Антарктиду завезли американцы. С лета 1962 года транспортабельная (в принципе, её можно было погрузить в самолёт класса Геркулес, но она была доставлена морским путём) ядерная установка с реак-

тором мощностью 1,75 МВт(э) начала работать на американской антарктической базе «Мак-Мёрдо». Первые несколько лет она использовалась для электроснабжения, а с 1966 года – для производства пресной воды. Кстати, реактор этого типа был третьим в серии, после первого эксперимента на авиабазе в Вайоминге, а затем в Гренландии. После обнаружения утечки теплоносителя в результате коррозионных явлений, в 1972 году установка была остановлена и демонтирована.

В одной из предыдущих глав была упомянута ядерная реакторная установка, предназначенная для транспортировки, монтажа и эксплуатации на станции «Молодёжная» в Антарктиде. Экспериментальная блочно-транспортабельная атомная станция электрической мощностью 750 кВт АРБУС (Арктическая реакторная блочная установка) с органическим теплоносителем была смонтирована в НИИАРе (г. Димитровград), где проработала с 1963 года около двадцати лет. Но её практическое применение не состоялось. Однако советский атом всё же попал в Антарктиду. В 1970-е и последующие годы на её территории силами советской Антарктической экспедиции была развернута сеть метеорологических и геофизических станций, для энергообеспечения которых использовались мощные изотопные генераторы РИТЭГ с термоэлектрическим преобразованием энергии радиоактивного распада. Они имели срок службы не менее 10 лет и содержали радиоактивный стронций-90 с начальной активностью вплоть до по-

лумиллиона кюри. Подобные источники энергии широко использовались в Советском Союзе на навигационных маяках, метеостанциях и других удалённых объектах Северного морского пути и Дальнего Востока.

Наш рассказ – о чисто антарктической задаче. Ещё в конце XIX века князь Пётр Кропоткин (он был не только анархистом, но и выдающимся географом и геоморфологом) писал о возможности сильного повышения температуры под давлением мощных ледниковых слоёв и присутствия подо льдами скоплений талой воды. Сейсмическое зондирование ледника вблизи Южного полюса и советской станции «Восток», проводившееся в конце 1950-х – начале 1960-х годов под руководством Андрея Капицы (сына известного академика) позволило измерить толщину льда, достигавшую 4-х километров, и обнаружить отражение сигнала ниже дна ледника. Последовавшее радарное зондирование британских учёных обнаружило в центре Антарктиды участки с «плоским» отражением. Собранные вместе советские и британские данные позволили высказать гипотезу, что это – отражение от границы «лёд–вода». В итоге был сделан вывод, что на глубине четырёх километров под ледяным щитом находится гигантское озеро площадью около 15 тысяч квадратных километров (почти Ладога). Показатели водоёма рекордны не только для Антарктиды: глубина на 8 м больше, чем у Байкала. Кстати, сегодня известно о существовании более 400 озёр под антарктическими льдами.

Озеро получило название от станции, стоящей над ним. Пункт «Восток» был основан на координатах 78,5° южной широты и 106° восточной долготы. Полярник Алексей Трехов разбил первый внутриконтинентальный лагерь в предполагаемом секторе южного геомагнитного полюса. Это произошло более 60 лет назад – 16 декабря 1957 года – и позволило обнаружить самое крупное подлёдное озеро Антарктиды. Сегодня это единственная российская станция, удалённая от береговой линии на 1 260 км и недоступная восемь месяцев в году. Здесь зафиксирован абсолютный минимум температуры на Земле – минус 89,2°C.

Открытие озера Восток называют последним в истории географическим открытием на Земле. Озеро



Российская антарктическая станция
«Восток»

уникально тем, что, возможно, миллионы лет было изолировано от земной поверхности. Естественно, возникла настоятельная потребность добраться до него. Ведь это была уникальная возможность изучения палеоклимата – доисторических условий на Земле. Идеи плавить лёд с помощью ядерного реактора появились одновременно с началом первых буровых работ на станции «Восток» в конце 1960-х годов. Тогда во льду появилась первая скважина глубиной с полкилометра.

Здесь мы и подошли к рассказу об установке, предложенной в лаборатории Буйницкого. В этой книжке чертежам не место, так что читателю придётся включить воображение. Представьте себе совершенно автономную сигарообразную капсулу длиной 10–15 метров и диаметром, который можно свести к полутора метрам. Внутри неё находятся: блок управления, аппаратура радиосвязи и навигации, станции исследования льда, состояния подледниковых водоёмов, донных осадков, потока геотепла и т.п. Всё это может работать до десяти лет благодаря «атомному сердцу» этого аппарата – ядерной установке тепловой мощностью полтора-два МВт и электрической мощностью 10 кВт. Изюминкой автономного «ледяного бура» являются два теплообменника в нижней и верхней части капсулы. Если управляемый по радио поток горячего теплоносителя направляется в нижний теплообменник – нагреватель погружения (нижний теплобур), капсула плавит лёд и движется вниз. Переключение потока горячей воды на нагреватель возвращения (верхний теплобур) поднимает всю установку вверх. Всё это было названо «АВИА-ПЛАС» («автоматической возвращающийся исследовательский аппарат – подлёдная атомная станция»).



Эвакуация РИТЭГов из центрального района Антарктиды

Бурение скважины под названием 5Г-1 началось в 1989 году совместной советско-французско-американской экспедицией и продолжалось едва ли не четверть века, с восьмилетним перерывом (1999–2006 годы) на разработку технологии, не допускающей попадания в озеро жидкостей, используемых при бурении. В феврале 2012 года уже только российские полярники достигли поверхности озера на глубине 3770 м.

В реальности были применены термические и электромеханические буровые снаряды. Чтобы использовать для этой цели ядерную технологию, атомная установка должна была быть создана и испытана с доказанной безопасностью для окружающей среды уже в 90-х годах прошлого века. Этого не произошло. Сейчас уже трудно сказать, что оказалось основным препятствием: отсутствие финансирования (российскому правительству тогда не нужна была даже Арктика, что уж говорить о далёкой Антарктиде) или экологические ограничения. Подписанный всеми участниками в 1991 году Протокол по охране окружающей среды к Договору об Антарктике прямо не запрещал использования ядерных установок, но настолько усложнял разрешение любых исследовательских программ на континенте, объявленном «природным заповедником», что «пробиться» туда с ядерными идеями уже выходило за пределы реальности. Не случайно все упомянутые выше российские РИТЭГи, содержащие радиоактивного материала на 80 тысяч кюри, были вывезены с территории Антарктиды совместной российско-американской миссией. Кстати, о подобных примерах успешной совместной ядерной деятельности стоит постоянно напоминать политикам.

Однако вся описанная история отнюдь не означает, что с атомным бурением можно проститься навсегда. Исследование озера Восток может оказаться полезным за пределами Земли. По некоторым гипотезам, на спутниках Юпитера (Европа и Каллисто) и Сатурна (Энцелад) существуют образования, похожие на озёра Антарктиды. Задача исследования Европы уже рассматривалась в начале 2000-х годов, причём с участием России, но была отложена. Пока готовится полёт на самый большой спутник Юпитера – Ганимед. Ждать экспедиции на Европу предстоит не менее 10–15 лет, но NASA уже финансирует разработку робота-бурильщика льда. Один из таких роботов тестировался в Норвегии ещё в 2002 году. Есть и проект VALKYRIE, возвращающийся к идее плавления льда с помощью ядерного реактора. Его энергоустановка при этом остаётся на поверхности, а снабжение энергией для растапливания льда ведётся по оптоволоконному каналу. Так что не исключено, что время идеи Б.А. Буйницкого ещё придёт. Правда, не обязательно в России.

КОЕ-ЧТО О «БЫСТРЫХ» РЕАКТОРАХ

Фундаментальное свойство цепной реакции деления: чем быстрее нейtron, тем больше своих «собратьев» он выбивает из делящегося ядра, не давало покоя учёным с зарождения атомной эры. Ядерный реактор, где большинство делений происходит под действием быстрых нейтронов, обладает фантастической способностью – «лишние» нейтроны позволяют наработать новые делящиеся изотопы в количестве большем, чем этот реактор «сжигает». Атомная энергия сама производит для себя топливо – что там какой-то вечный двигатель!

Об этом написано во всех учебниках и сотнях монографий. Что ещё можно к этому добавить? Пожалуй, стоит напомнить некоторые исторические факты для иллюстрации красивой и до настоящего времени имеющей хождение теории о тяжёлой ошибке атомного сообщества, «поставившего не на ту лошадь».

Суть её в том, что, если бы (вопреки общепринятой аксиоме истории просто не способна жить без сослагательного наклонения) была поддержана идея Э. Ферми – ядерная энергетика на быстрых реакторах, – человечество вступило бы в эру «дешёвого электричества на дешёвом неисчерпаемом топливе». Вместо этого созданная конкурентами и недальновидными политиками ядерная энергетика на тепловых реакторах пришла к XXI веку «в состоянии застоя и туманного будущего». В этом абзаце в кавычках заключены цитаты из авторов вышеуказанной теории. Кстати, сам Ферми в 1945 году заявил: «Страна, которая первой разработает реактор-бридер, будет иметь значительное преимущество в состязании за атомную энергию». Вот с этих позиций стоит обратиться к истории развития реакторов на быстрых нейтронах.

Первым быстрым реактором в мире был небольшой кубик из плутония (с ребром 15 сантиметров), охлаждаемый ртутью, слабо поглощающей нейтроны. Он достиг критичности в сентябре 1946 года. Создатели нарекли его «Клементиной».

История этого названия такова: оно взято из одноимённой легкомысленной американской песенки, сохранившейся с XIX века:

In a cavern, in a canyon, excavating for a mine, Dwelt a miner, forty-niner, and his daughter, Clementine (в слабеньком переводе автора: «Там, в каньоне, жил старатель, рылся в шахте не один, Просто сорокадевятник вместе с дочкой Клементин»).

Дело в том, что реактор был построен в каньоне Лос-Аламос, «49» – кодовое название плутония в США в годы войны, а «сорокадевятники» – авантюристы, бросившиеся на запад страны в «Золотую лихорадку» 1849 года. Единственно, что слегка смущает, но, как можно понять, нисколько не беспокоило создателей ядерной «Клементины»: в финале песенки бедняжка тонет. Однако согласимся с первопроходцами: не стоит искать ассоциации между названием первого реактора и судьбой направления.

Некоторые проблемы проявились уже на «Клементине». Ртуть оказалась не очень подходящим теплоносителем, плохо совместимым с конструкционными материалами. Сроки освоения проектной мощность в 25 кВт в тот период «бури и натиска» растянулись на три года. В 1952 году реактор был окончательно остановлен из-за разрушения топливного стержня.

«Клементина» оказалась десятым по счёту ядерным реактором в мире (запущенным на три месяца раньше курчатовского реактора Ф-1). До неё было создано восемь реакторов (пять исследовательских и три для производства оружейного плутония) в США и один – в Канаде. По своей конструкции в этой когорте было шесть графитовых реакторов, два тяжеловодных и один гомогенный растворный реактор на обогащённом уране. Так что быстрый реактор отделяют от первой рождённой человеком цепной реакции деления четыре года и девять предшественников.

Реактор, на котором работает сегодня около 90% ядерной энергетики мира и все атомные корабли – с замедлением нейтронов и охлаждением лёгкой



Первый в мире быстрый плутониевый реактор «Клементина», 1946 год

водой, впервые появился только через четыре года после «быстрого». Это был испытательный реактор LITR, запущенный в феврале 1950 года в Ок-Ридже. Стоит заметить, что первым реактором с водой под давлением американцы считают свой наземный прототип реактора для подводной лодки, Submarine Test Reactor 1953 года.

Первая волна запусков экспериментальных быстрых реакторов, начатая «Клементиной», успела состояться почти одновременно со стартом «большой» ядерной энергетики. В 1951 году в США начал работать экспериментальный быстрый реактор EBR-1 мощностью 200 кВт(э) (его называли «дьявольским котлом Цинна» по имени его создателя, директора Чикагской, позднее Аргоннской национальной лаборатории), примечательный как первым ядерным электричеством в четыре лампы по 200 Вт, так и частичным расплавлением активной зоны в 1955 году. Вспомним и, правда, не быстрый, но первый охлаждаемый натрием графитовый реактор SRE (1957–1959 годы), который также остановила авария с частичным расплавлением активной зоны. Английский быстрый реактор DFR (Dounreay Fast Reactor) достиг критичности в 1959 году, а с 1962 года стал первым в мире быстрым реактором, подключённым к национальной сети (14 МВт(э)). Он действовал пятнадцать лет.

В течение 1961–1963 годов в США поработал охлаждаемый натрием реактор LAMPRE-1 с расправленным плутонием в качестве топлива. В 1964 году был включён в сеть EBR-II (20 МВт(э)), признанный наиболее успешным из американских быстрых реакторов и проработавший «долго и счастливо» 30 лет. Менее удачной была судьба «полномасштабного» (или «full-scale», как говорят американцы) быстрого реактора для АЭС «Ферми-1» мощностью 61 МВт(э). Через два месяца после пуска в 1966 году ещё одна авария с расплавлением топливных сборок остановила реактор почти на четыре года. Инцидент имел серьёзные последствия для судьбы направления быстрых реакторов в США. Уже упоминавшийся адмирал Х. Риккер, изрядно намучившись с натриевым реактором для подводной лодки, назвал натриевые системы «дорогими для строительства, сложными для работы, чувствительными к длительным остановкам в результате даже малейших нарушений и требующими трудного и длительного ремонта». Однако это были ещё 1950-е годы.

В Советском Союзе работы по быстрым реакторами с самого их начала были сосредоточены во второй по величине национальной атомной лаборатории в Обнинске – Физико-энергетическом институте, носящем теперь имя отца-основателя быстрой тематики в стране, А.И. Лейпунского. Как пишут, именно он убедил правительство в необходимости работ этого направления, пообещав какое-то военное применение. Они велись весь-

ма интенсивно. В 1955 году был введён в эксплуатацию реактор нулевой мощности на металлическом плутонии БР-1, через год – экспериментальный реактор БР-2 мощностью 100 кВт, охлаждаемый ртутью. Уже в 1959 году на его месте был выведен на проектную мощность в 5 МВт реактор БР-5 с натриевым теплоносителем. Опыт работы именно этого реактора, несмотря на проблемы с парогенератором, принёс инициаторам быстрого направления в нашей стране уверенность в правильности выбора основных решений по «главной реакторной триаде»: топливу, теплоносителю и конструкционным материалам.

Несколько отсталая по срокам создания первого быстрого реактора Франция. «Рапсодия» стартовала в 1967 году на мощности в 20 МВт(т). Это был чисто экспериментальный аппарат, но последующий вклад страны в это направление – создание самого большого быстрого реактора мира – заслуживает отдельного обсуждения.

Первые реакторы на быстрых нейтронах других стран (Германии, Японии, Индии, Италии – последняя его, впрочем, не достроила) создавались и испытывались с конца 1970-х годов, и уже мало что нового могли привнести в практически определившуюся технологическую базу состоявшейся мировой ядерной энергетики.

Необходимо подчеркнуть, что «первая серия» экспериментальных реакторов на быстрых нейтронах подтвердила их фундаментальное свойство – способность к расширенному воспроизведению ядерного топлива – и на долгие годы определила монополию жидкого натрия в качестве теплоносителя.

Даже такой беглый экскурс в историю зарождения ядерной энергетики показывает, что быстрые реакторы лишь на несколько лет опоздали к закладке технологической базы этой новой отрасли энергопроизводства. Напомним, что время появления первых подключённых к энергосети реакторов (сейчас их принято называть коммерческими), каждый из которых стал прообразом широко растиражированного в дальнейшем направления, укладывается в узкий диапазон 1954–1957 годов. Тогда были введены в строй советский водо-графитовый АМ (его довольно условно можно счи-



Первый советский быстрый реактор БР-1, 1955 год

тать прототипом серии РБМК), английский газо-графитовый Calder-Hall, американские кипящие и с водой под давлением BORAX-III, Vallesitos и Shippingport.

Разумеется, не столько временной фактор, сколько проверенные и отработанные технологии определили успех этих реакторных направлений. Кстати, бытующее представление, что только «демобилизованные» военные реакторы вошли в базу «мирного энергетического атома» не совсем верно. Широко распространённые не только в США, но и в остальном мире корпусные кипящие реакторы не особо «замараны» военным прошлым.

Как происходил отбор ядерных технологий для реальной энергетики, проиллюстрируем действиями учёных и власти в нашей стране. Уже в 1945 году организация «исследовательских работ по использованию внутриатомной энергии в мирных целях» была включена в повестку дня только что созданного штаба советского «Атомного проекта» – Спецкомитета при Государственном комитете обороны. К 1949 году были выполнены проектные проработки энергетических реакторов различных типов, в том числе на быстрых нейтронах с натриевым охлаждением. 1950-е и 1960-е годы были точно так же, как несколько ранее в США, периодом активного изучения реакторных систем, удовлетворяющих принципам и интересам большой ядерной энергетики.

Первая советская программа развития ядерной энергетики была принята в 1956 году по инициативе, конечно, И.В. Курчатова. Он выступил с ней на XX съезде КПСС. Вышедшее после съезда постановление заявляло о намерениях построить в период 1956–1960 годов (с перспективой) 2–2,5 млн кВт мощностей АЭС с очень интересным набором реакторов: графитовыми АМБ, тяжеловодными с газовым теплоносителем, а также реакторами ВВЭР. Ещё более интересно, что эта программа, хотя и в усечённом виде и с заметным временным сдвигом, была реализована. В 1964 году первые блоки АЭС с реакторами АМБ и ВВЭР были введены в строй. Газо-охлаждаемый тяжеловодный несколько позже был построен в Чехословакии (Богунице 1А) и остался памятником этому не получившему развития направлению. После пересмотра советской программы в 1962 году в ней был включён реактор на быстрых нейтронах.

1963–1964 годы – период усиления внимания к роли бридеров на быстрых нейтронах. Идея построить на них топливообеспечение и вообще саму ядерную энергетику, возвращающие к заветам Ферми, снова начали будоражить умы и сердца создателей реакторной техники. Ответ на это очень чётко сформулировал человек, придумавший новых реакторов, наверно, больше, чем кто-либо ещё, ближайший соратник Курчатова, профессор С.М. Фейнберг.

Вот его слова, произнесённые на Учёном совете, посвящённом 60-летию со дня рождения отца-основателя атомного развития СССР:

«Создание реактора для расширенного воспроизводства есть важнейшая задача. Однако на сегодня существует очень большой разрыв между уровнем техники, достигнутым по реакторам на тепловых нейтронах и реакторам на быстрых нейтронах. Реакторы на быстрых нейтронах, по существу, ещё не имеют за плечами никакого опыта.

Построены только первые образцы, и они ещё не работают. Освоение этих станций оказалось очень длительным... Разрыв между техническим уровнем тепловых и быстрых реакторов в годах составляет не менее 10–15 лет.

Нам кажется, что строить программу развития атомной энергетики, не имея опыта больших станций, невозможно. Как показывает опыт, такая программа нежизненна. С другой стороны, даже при очень крупных потребностях и темпах развития атомной энергетики существующие запасы добывшего урана и разведанного урана достаточны для обеспечения очень крупной атомной энергетики в течение нескольких первых десятилетий. Поэтому нам кажется, что в ближайшие десятилетия развитие атомной энергетики должно строиться на базе развития тепловых реакторов, хотя из этого не вытекает и не следует думать, что не надо работать над быстрыми реакторами. Наоборот, надо работать над быстрыми реакторами с максимальной энергией и так быстро, как мы приобретаем опыт работы на этих реакторах; так же быстро их надо включать в общую программу...»

В отличие от Запада, в СССР решили пропустить стадию создания атомных электростанций мощностью 50–60 МВт(э)). Этот уровень мощности оставили за опытными установками исследовательского назначения (ВК-50 с кипящим водяным реактором, БОР-60 с натриевым реактором). В быстрой энергетической программе сосредоточились на реакторе БН-350, предназначенном для производства электроэнергии, тепла и пресной воды. Его сооружение



Первый в мире быстрый реактор большой мощности БН-350, Актау (бывш. Шевченко), 1973 год

началось в г. Шевченко в 1964 году, энергетический пуск состоялся в 1973 году. Далее – тяжёлый пятилетний период освоения быстрой технологии на высоком уровне мощности. В основном это были проблемы, связанные с натриевым теплоносителем и парогенераторами натрий–вода (их почти все пришлось ремонтировать на месте монтажа). Кстати, они продолжались и на следующем быстром реакторе БН-600, выведенном на проектный уровень мощности в 1981 году. Но период преодоления детских болезней и степень их тяжести были значительно меньшими. Уже с третьего года эксплуатации БН-600 начал работать стабильно на номинальном уровне мощности. Этим реактором, сконцентрировавшим отечественный опыт в быстром направлении, завершилась программа XX века.

Можно только добавить, что готовность руководства советской атомной отрасли вкладывать немалые средства в быстрые реакторы подтверждается примером одного довольно экзотического проекта. С конца 1960-х годов в Институте ядерной энергетики Академии наук Белорусской ССР в Минске были развернуты работы по созданию АЭС на основе диссоциирующего теплоносителя – четырёхокиси азота, кстати, до того применявшегося в ракетной технике в качестве окислителя топлива. Был разработан проект реактора БРИГ-300, создана мощная экспериментальная база (критсборки, стенды, петли и т.п.), работы велись большими силами около двадцати лет. Сопутствующий проект автономного транспортабельного энергетического источника «Памир-630Д» для объектов в труднодоступных районах был доведён до испытаний опытного образца. Всё это остановил не только Чернобыль, но и непреодолимая преграда – огромная токсичность теплоносителя, закрывшая эту идею.

Если не считать этот эксперимент, у советской быстрой программы было много общего с развитием этого направления за рубежом, где, однако, к чисто технологическим проблемам присоединились мало нам тогда знакомые политические и общественные противодействия.

Французский PHENIX (250 МВт(э)) и английский PFR (Dounreay Prototype Fast Reactor той же мощности) вошли в строй с незначительным отставанием от БН-350. Реактор в Великобритании проработал двадцать лет со средним коэффициентом использования мощности 60%, пока правительство в конце 1980-х годов не решило, что необходимости в подобных реакторах нет, и не остановило быструю программу. Его французский аналог имел более сложную судьбу. Длительные простой из-за известной «болезни» быстрых реакторов – протечек в теплообменниках – осложнялись требованиями политических решений для каждого возобновления работы. Особенность эксплуатации данного объекта – так до

конца и не объяснённые отрицательные скачки реактивности (четыре случая в 1989–1990 годах) стали одной из причин постепенного отказа Франции от дальнейшего развития направления быстрых реакторов. Тем не менее, PHENIX проработал 35 лет и был остановлен только в 2009 году.

Несмотря на закрытие президентом Картером работ по замыканию ядерного топливного цикла, в США удалось запустить ещё один, до настоящего времени последний, быстрый реактор FFTR мощностью 400 МВт (производить на нём электричество не стали). Реактор был прекрасно оснащён экспериментальными устройствами, петлевыми установками, но в отсутствие национальной быстрой программы проработал только десять лет и был остановлен, о чём американские физики сожалеют до сих пор.

Упомянем ещё о двух реакторах, так и не допущенных до эксплуатации. Немецкий быстрый реактор SNR-300 (327 МВт(э)) сооружался под аккомпанемент антиядерных демонстраций, марширующих по улицам городка, где он строился. Дело дошло до комиссии бундестага, прервавшей стройку на четыре года из-за сомнений в безопасности управления именно быстрыми аппаратами и опять-таки проблем «натрий–вода». Реактор был готов к эксплуатации в 1985 году, но федеральное правительство не разрешило его пуск. Построенный десятилетие спустя японский Monju (280 МВт(э)) не сумел избавиться от проблем с утечками натрия и после аварии на АЭС «Фукусима» был окончательно остановлен.

После этой минорной ноты хочется слегка позабавить читателя. Во время посещения реактора Monju пропускная кабина на «ядерный остров» категорически отказалась автору, несмотря на все усилия сопровождающих. Как выяснилось, автомат просто был не в состоянии поверить, что сто десять килограммов могут быть весом одного человека. Пришлось вскрывать шлюз для провоза парогенераторов. «Gate for elephants» («ворота для слонов»), ласково шепнули мне.

Пожалуй, наиболее драматической оказалась судьба самого большого в мире быстрого реактора – французского SUPERPHENIX мощностью 1242 МВт(э). Его начали строить в 1974 году в городке Creys-Malville (45 км от Лионса и 70 км от Женевы). Заявленную цель можно считать классической: экономичный производитель энергии и наработчик топлива для реакторов на тепловых нейтронах. Президент Валери Жискар д'Эстен, давший «зелёный свет» этому проекту, декларировал: «Если французский уран использовать в быстрых реакторах, мы во Франции будем иметь энергетические ресурсы, сравнимые с Саудовской Аравией». Французский министр промышленности предсказывал 540 коммерческих бридеров в мире к 2000 году.



Самый большой в мире быстрый
реактор SUPERPHENIX, 1242 МВт(э),
Франция

При всём этом, трудно найти проект, встретивший большую общественную оппозицию. В 1976 году двадцать тысяч человек оккупировали площадку строительства. Около 1300 учёных из кантона Женева обратились с открытым письмом к правительствам Франции, Германии, Италии и Швейцарии, протестуя против сооружения мощного быстрого реактора. Чуть позже число протестующих достигло 60 000 человек, а группы анархистов использовали уже «коктейли Молотова».

Тем не менее в 1986 году реактор был подключён к сети. Через 17 месяцев он остановился из-за утечки натрия и никогда больше, вплоть до окончательной остановки в конце 1997 года, не достигал такого срока безостановочной работы. За время эксплуатации коэффициент нагрузки составил менее 7%. Подсчитали, что за 12 лет эксплуатации SUPERPHENIX нормально проработал 53 месяца (в основном на низкой мощности), 25 месяцев стоял из-за технических неполадок и 66 месяцев не мог быть запущен из-за политических и административных ограничений.

Это был последний быстрый реактор в Западной Европе (и тем более в США), производивший электроэнергию. Таким образом, наш БН-600 на Белоярской АЭС остался единственным успешно эксплуатируемым коммерческим быстрым реактором в мире.

Подведём итог первому пятидесятилетию быстрого направления в реакторостроении. Ему, что совершенно понятно, не удалось достичь теоретически возможного, благодаря более высокому температурному потенциалу, экономического преимущества перед направлением реакторов с водой под давлением. Да и плату за деление на быстрых нейтронах – удвоенную загрузку ядерного топлива – обойти физически невозможно. Впрочем, «дешевизны» от демонстрационных проектов никто и не ждал, но разрыв достаточно и устойчиво велик. Главное, конечно, в другом. К концу века стало очевидно, что ранее предсказывавшиеся трудности с обеспечением растущей ядерной энергетики топливом откладывались на многие десятилетия. А это означает отсутствие потребности в быстрых реакторах в длительной перспективе. Также надо честно признать, что состоявшаяся ядерная энергетика сумела «поставить подножку» своим быстрым «конку-

рентам», организовав две тяжёлых аварии в XX веке (и ещё одну в следующем) и, естественно, оставив мечты об ускоренном развитии на неопределённое будущее.

Новый век пока что не слишком много добавил к перспективам развития быстрых реакторов в мире. Ни шатко ни валко шла разработка проекта французского натриевого быстрого реактора-прототипа нового поколения «Астрид», а в 2019 году проект тихо скончался. Комиссариат по атомной энергии объявил решение прекратить работы. Пять европейских стран ведут проект газоохлаждаемого быстрого реактора «Аллегро». В нескольких странах, с лидирующей позицией Румынии и Италии, много лет рассматривают возможность создания реактора со свинцовым охлаждением («Альфред»). Индия уже полтора десятка лет строит опять же демонстрационный быстрый реактор PFBR. Наиболее обширные планы в этой области, как водится, у Китая. Запустив в 2011 году небольшой экспериментальный реактор CEFR, основанный, разумеется, на российской технологии, Китай собирается продолжать эту линию, купив теперь технологию энергетического российского быстрого реактора. Наконец-то преодолевает вето Картера страна, открывшая направление быстрых реакторов. В США официально принято решение построить собственный быстрый исследовательский реактор (с прекрасным названием FASTER). Похоже, что это серьёзно. Вот, собственно, и всё.

Достижение России на этом пути – пуск в 2016 году второго быстрого энергоблока с реактором БН-800 на площадке Белоярской АЭС – некоторыми специалистами воспринимается как неоправданная трата средств, ведь проект БН-800 относится к 80-м годам прошлого века. Тем не менее создание этого реактора позволило восстановить уже частично утраченную (как показали трудности его пуска) культуру проектирования натриевых реакторов и получить достаточную базу для дальнейшей отработки замыкания ядерного топливного цикла. В целом же мир признаёт, что российские учёные и инженеры позволили своей стране опередить разработчиков других стран минимум на 15–20 лет.

Необходимость продолжения работ по двухкомпонентной (тепловые и быстрые реакторы) ядерной энергетике, требующей такого



БН-800 на Белоярской АЭС вошёл в строй в 2016 году

замыкания, рассматривается как стратегическая задача. Правда, совсем не в срочной перспективе. Следующий шаг в российской быстрой программе – строительство энергоблока с реактором БН-1200, призванного стать началом коммерческой серии быстрых реакторов, Госкорпорация «Росатом» относит на вторую четверть века. О судьбе ведущихся в России разработок быстрых реакторов с тяжёлометаллическими теплоносителями (свинец-висмут, свинец) автор высказываться не будет.

Даже такой беглый обзор, как можно надеяться, подтверждает тот факт, что направление быстрых реакторов не было обижено ни усилиями разработчиков, ни отношением принимающих решения практически во всех странах-создателях ядерной техники. Сегодняшнее место быстрых реакторов в реальной энергетике, а также в исследованиях и разработках, отражает сроки прогнозируемой необходимости в них, определяемой прежде всего потребностями вовлечения урана-238 в ядерный топливный цикл. Перенос востребованности «вторичного» ядерного топлива ещё на несколько десятилетий явно не стимулирует интенсивное развитие быстрого направления, сколько бы доводов о будущих экономических преимуществах и обещаний фантастической «естественной безопасности» не произносилось энтузиастами. Ядерная энергетика по Ферми пока что не состоялась, да и не могла состояться, по явно объективным причинам.

В заключение короткой «биографии» быстрого направления хочется согласиться с позицией известного курчатовского эксперта-философа С.А. Субботина, высказанной им ещё тридцать лет назад. Состояние и темпы развития того или иного направления «определяются не столько красивой идеей, заложенных в проекты, а вещами, как правило, более приземлёнными, которые позволяют, не дожидаясь гениальных решений, выбрать достаточно надёжную и рентабельную конструкцию».

СКАНДИНАВСКИЙ ГРОМОВЕРЖЕЦ И МИРНЫЙ АТОМ

С древнеисландского Тор переводится как «гром» и в скандинавской мифологии называется богом грома и бури, защищающим от великанов и чудовищ. Однако в литературе его часто называют богом войны, что очень подходит непобедимому божеству, разъезжающему по небу в огромной бронзовой колеснице с раскалённым молотом и поясом силы.

Некоронованный король химиков первой половины XIX века, шведский учёный Йенс Якоб Берцелиус, по-видимому, имел все основания назвать открытый им новый элемент торием в честь Тора. Однако торию начало «не везти» ещё до рождения. Первое «открытие» этого элемента в 1815 году оказалось ошибкой. Вещество, которое Берцелиус принял за окись тория, оказалось фосфатом иттрия. Редкоземельные элементы очень близки к актиноидам, а торий – первый член этого семейства. Через десять лет учёный обнаружил свою ошибку, но, «похоронив» торий, он же его и «воскресил» в 1828 году, выделив из редкого минерала, называемого теперь торитом.

В 1898 году была обнаружена радиоактивность тория. Это не такой уж редкий металл, в земной коре его примерно столько же, сколько свинца. Практически весь природный торий – это изотоп Th-232 с периодом полу-распада около 14 млрд лет. Как и положено так называемому «чётно-чётному» изотопу, он не способен делиться тепловыми нейтронами и быть ядерным горючим. Но под действием нейтронов он превращается в уран-233, который по некоторым свойствам (например, количеству выделяющихся при делении нейтронов) превосходит и уран-235, и плутоний-239.

Естественно, что И.В. Курчатов рассматривал получение урана-233 как одно из направлений работ по производству оружейных материалов. Вот небольшая выдержка из его обширного доклада «об основных научно-исследовательских, проектных и практических работах по атомной энергии, выполненных в 1947 году». Доклад был заслушан на заседании Спецкомитета (мы о нём уже неоднократно упоминали) с резолюцией: «Считаем необходимым доложить Председателю Совета Министров СССР товарищу Сталину И.В.».

«Очень важным показателем ценности метода является глубина использования сырья, определяющая, сколько атомных бомб может быть сделано из данного количества сырья и позволяет ли метод использовать наряду с ураном также и торий.

Оказывается, что в отношении использования сырья уран-графитовый котёл даёт худшие результаты, чем диффузионный и электромагнитный методы и чем котёл «уран – тяжёлая вода».

Котлы с тяжёлой водой, хотя и обладают рядом существенных недостатков, зато имеют важное преимущество перед другими методами, так как, судя по имеющимся у нас данным, позволяют использовать торий...

Использование тория в котлах с тяжёлой водой для получения урана-233, который, наряду с плутонием и ураном-235, также является атомным взрывчатым веществом, как было выяснено работами 1947 года, представляется возможным; о практическом значении этого использования сейчас ещё трудно говорить, так как не все необходимые для соответствующих расчётов константы могли быть измерены с достаточной точностью из-за малости имеющихся количеств урана-233.

На заводе «А» комбината №817 нами в 1948 году уран-233 будет получен в количестве до 100 граммов, мы будем в состоянии произвести необходимые измерения и оценить роль тория. В том случае, если бы оправдались расчёты, было бы возможно из 1000 тонн тория изготовить до 3000 атомных бомб».

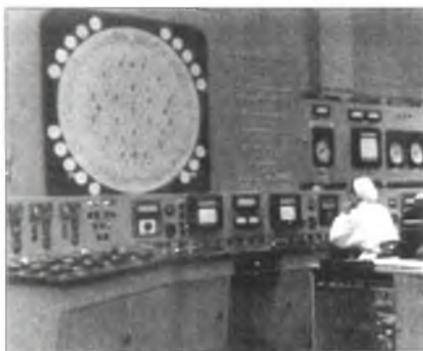
Запущенный в 1951 году на комбинате №817 (ныне ПО «Маяк») тяжело-водный реактор ОК-180 был в 1953 году переведён на работу с ториевым (в документах того времени торий назывался «селеном») топливом и в таком режиме эксплуатировался до конца 1955 года. Видимо, к этому времени интерес к торию как сырью для получения урана-233 в военных целях был уже исчерпан. Об этом косвенно свидетельствует известный доклад Курчатова в Харуэлле в апреле 1956 года. Мировому сообществу была представлена программа развития советской ядерной энергетики, где в перечислении экспериментальных установок присутствует «гомогенный реактор с замедлителем из тяжёлой воды и расширенным производством ядерного горючего в цикле $\text{Th}^{232} - \text{U}^{233}$ ». Правда, эта идея реализована не была.

Американские историки пишут о первом использовании тория в реакторе в декабре 1956 года, когда уран-ториевое топливо было загружено в экспериментальный реактор BORAX-IV в Айдахо. Разумеется, производство урана-233 в военных целях в США было испытано раньше. Это было на площадке Саванна-Ривер в Южной Каролине, где первый промышленный тяжеловодный реактор был запущен в конце 1953 года.

Первым коммерческим энергетическим реактором с уран-ториевым топливом был блок Индиана-Пойнт-1 (мощностью 257 МВт), вошедший в строй в январе 1963 года. Кстати, когда специалисты говорят о ториевых реакторах, прежде всего вспоминают другую американскую АЭС – Шиппингпорт. Однако это детище адмирала Риковера – по их мнению, первый в мире «полномасштабный» энергетический реактор мощностью 60 МВт (английский Колдер-Холл всё-таки был двухцелевым, он производил оружейный плутоний) – был введен в строй в 1957 году на чисто урановом топливе. В демонстрационный легководный бридер с торий-уранным циклом его превратили только в 1977 году.

С 1960-х годов колесница Тора «от всей души» прокатилась по бурно развивающейся ядерной энергетике, точнее, по её экспериментальному авангарду. Ториевое топливо побывало в пяти прототипах ВТГР, газоохладжаемых реакторах с гелиевым теплоносителем (Великобритания, США, Германия). Первый и пока единственный в мире жидкросоловой реактор MSRE (США, 1965–1969 гг.) работал на расплаве солей, включающем тетрафторид тория. В Канаде много лет изучались, в том числе экспериментально, возможности использования тория в национальном канальном реакторе CANDU.

Колесница громовержца не пропустила и нашу страну. Прорабатывалось помещение тория в бланкеты быстрых реакторов. В нашем Курчатовском институте уже в середине нулевых годов вполне серьёзно готовилась



Тяжеловодные реакторы на комбинате №817 (ПО «Маяк»)



Уран-233 производился на заводах Саванна-Ривер в США

постановка опытных кассет с торием в действующий реактор ВВЭР-1000. В частности, в реакторе ИР-8 в течение года шли исследования опытных твэлов с ториевым топливом. Этот проект тоже лёг на полку.

Единственной страной, не прекращающей исследования ториевого цикла, была и остаётся Индия. Обделённая урановыми ресурсами «самая большая демократия мира» (как они себя называют) обладает значительными запасами тория. Сформированная отцом ядерного развития Индии Хоми Бхабха в 1954 году программа строительства АЭС с тяжеловодными реакторами, ориентированная на использование тория, продолжает жить. Однако в последние годы начинает размываться односторонняя ориентация на тяжеловодные реакторы (единственным исключением за первые 50 лет ядерного развития была АЭС Тараупур с американскими BWРами, с которой, кстати, индузы здорово намаялись). Индия уже эксплуатирует и продолжает строить реакторы вполне «традиционной ориентации» на обогащённом уране, а именно российские ВВЭР, и даже надеется на сооружение американо-французских PWR.

Остаётся только объяснить, почему, несмотря на столь долгую и вполне многообещающую историю, ториевое топливо осталось на «листе ожидания» ядерного развития человечества. Пожалуй, это довольно очевидно.

Не будем вдаваться в преимущества и недостатки (они тоже есть) торий-уранового топливного цикла. Заметим только, что первые существенно перевешивают последние. Почему же тогда? Прежде всего, создать чисто ториевый реактор невозможно. Торий не имеет делящихся изотопов – соответственно, нет и источника нейтронов. Хотя бы для начала необходим

уран-235. Для первых реакторов, использующих торий, нужно было дефицитное тогда урановое топливо. Когда же обогащённый уран перестал быть дефицитом и к тому же «на складе» появился плутоний-239, поезд с урановыми реакторами ушёл далеко вперёд. Ядерная энергетика твёрдо встала на «урановый» путь развития, и для «перевода стрелок» на торий нужны исключительно веские основания. Никакой выигрыш в 10–20% уже ничего не решает. Переход на торий – это совсем другая атомная промышленность, начиная с другой минеральной базы и завершая переработкой отходов совсем другого цикла. Так что вряд ли стоит ожидать скорого прихода тория в практическую энергетику, по крайней мере, пока она работает в открытом топливном цикле.



Шиппингпорт, США



Dragon, Великобритания



MSRE, США



AVR, Германия

В этих реакторах использовалось «ториевое» топливо

Значит ли это, что на возвращение разящей врагов колесницы нам совсем не приходится рассчитывать? Нет, шансы на использование тория в ядерном производстве энергии остаются. Здесь снова пора вернуться к Курчатову и его идеям. Как уже говорилось, в январе 1951 года (первая термоядерная бомба ещё не была взорвана) Игорь Васильевич пишет письмо на имя главы Спецкомитета Л. Берия с явным расчётом на доклад руководителю страны. Кстати, впервые это письмо было опубликовано только в 2012 году, а до этого хранилось на секретной полке в архивах Курчатовского института. Называется оно «О возможности создания магнитных термоядерных реакторов». В письме излагается принцип устройства предложенного А.Д. Сахаровым и И.Е. Таммом годом ранее магнитного ядерного реактора в виде «баранки» с обмоткой, удерживающей плазму от столкновения со стенками за счёт сильного магнитного поля, и предлагается использовать выделяющиеся в «магнитном реакторе» нейтроны для производства ядерных материалов. И главным претендентом на превращение в ядерное горючее Курчатов считает торий.

«Если удастся осуществить магнитные ядерные реакторы, то получение ядерного горючего будет достигнуто совершенно новыми и очень перспективными путями... Переработка тория, природные запасы которого значительно превосходят запасы урана, даст лучшее ядерное горючее – уран-233».

Статья заканчивается предложением обеспечить «постройку лабораторной модели магнитного ядерного реактора». В мае 1952 года вышло Постановление СМ СССР «О проведении научно-исследовательских и экспериментальных работ по выяснению возможности осуществления магнитного термоядерного реактора».



На пути к термоядерному источнику нейтронов.
Токамаки Т-1 (слева) и JET (справа)

Физический пуск установки ТМП, давшей в последующем всемирно известное название «токамак» всему классу установок данного типа, состоялся в 1954 году. В 1971 году на токамаке «Т-4» был впервые получен нейтронный выход из плазмы. О термоядерном реакторе-производителе ядерного горючего «вспомнили» только в 1978 году, но дальше слов дело тогда не пошло.

И только через шесть десятков лет от первой идеи к обсуждению гибридных термоядерных реакторов снова вернулись. Как же так, спросит вдумчивый читатель, ведь все эти годы создавались основы термоядерных электростанций? Во Франции реализуется международный проект экспериментального термоядерного реактора ИТЭР, а за ним должна последовать первая термоядерная электростанция. Увы, на пути создателей «термояда» пока ещё стоят труднопреодолимые проблемы, прежде всего – как выдерживать гигантские тепловые нагрузки со стороны плазмы. Природа не торопится подарить людям материал, способный работать в окрестностях Солнца. Однако то, что сегодня называется «термоядерным источником нейтронов» – это существенно другое устройство. Если освободить его от обязанности производить электроэнергию, то нагрузки на первую стенку можно снизить на порядок, а это уже в пределах достигнутого. Такие параметры плазмы и уровни мощности продемонстрированы в токамаках TFTR и JET. Кстати, объединённому европейскому токамаку JET принадлежит мировой рекорд мощности управляемого термоядерного синтеза в 16 МВт. А там дело дойдёт и до ториевого бланкета. Так что осталось «всего лишь» всерьёз заняться этой возможностью симбиоза ядерной энергетики деления и синтеза.

«РЯДОМ ШАГАЕТ НОВЫЙ КИТАЙ»

Вряд ли многие из читателей помнят песню 1950 года популярного тогда Вано Мурадели «Москва–Пекин», из которой взят заголовок. Но уж о Великом шёлковом пути знают все. Возможно, он представляется в виде бредущих на Запад бесконечных караванов с шёлком, но на самом деле это была «улица с двусторонним движением». Навстречу китайскому шёлку и технологиям (порох, бумага) шли европейские изобретения, например, колесницы, военное снаряжение и изумительные транспортные средства – арабские скакуны. В середине XX века настало время неумолимого движения на Восток атомной энергии.

Уже через шесть лет после образования Китайской Народной Республики (и первых испытаний советской атомной бомбы), в 1955 году Центральный комитет Коммунистической партии Китая принял решение о создании собственного ядерного арсенала. Говорят, что «стартовым выстрелом» к этому стало огромное впечатление, которое на заместителя председателя КНР Чжу Дэ и министра обороны Пэн Дэхуая произвели общевойсковые учения с применением атомной бомбы на Тоцком полигоне 14 сентября 1954 года, куда пригласили наших тогдашних друзей. Мао Цзэдун называл атомную бомбу «бумажным тигром», но попросил Хрущёва наладить её производство. Ответом на просьбу было обещание в случае военной угрозы прикрыть Китай «ядерным зонтиком». Кстати, таким же был ответ США на соответствующие попытки европейских союзников.

Тем не менее в период с 1955 по 1958 год СССР и КНР заключили ряд соглашений о развитии китайской атомной промышленности. Первые мощности по обогащению урана в Китае были построены на основе со-

глашения с Советским Союзом в 1955 году. Более десяти тысяч китайских специалистов прошли обучение в нашей стране. Автор в конце 1950-х годов ещё застал в своём родном МИФИ группу китайских студентов. От московских лоботрясов их отличала не только одинаковая одежда и хождение всегда вместе, почти строем, с суровым выражением лиц, но и невероятная для нашего студента готовность ежедневно работать в библиотеке института до самого её закрытия. Это было как раз то время, когда произошло ухудшение отношений между двумя странами, и состоялось решение Хрущёва в мае 1959 года – атомные секреты Китаю не передавать.

Но поезд уже ушёл. В октябре 1964 года на полигоне Лобнор было проведено первое испытание китайского атомного заряда мощностью порядка 20 килотонн, а меньше чем через три года (самый короткий промежуток в истории ядерных держав) – уже термоядерного оружия. До подписания Договора о запрещении ядерных испытаний в Китае было проведено 45 атомных взрывов, из них 22 подземных.

Примерно то же произошло и с атомными подводными лодками. В 1958 году Пекин обратился к Москве с просьбой помочь в разработке АПЛ. В ответ руководство СССР предложило создать совместные военно-морские базы на побережье Китая, с чем тот согласиться не мог. Председатель КНР отозвал «лодочную» просьбу. Однако национальные кадры атомных судостроителей, учёных-ядерщиков и собственная промышленная база появились в Китае при советской поддержке. Руководителем программы атомного подводного строительства стал специалист, окончивший Московский энергетический институт.

Разумеется, задача была нелёгкой. Первая китайская АПЛ «Хань», заложенная в 1967 году, была введена в состав военно-морского флота страны только через тринадцать лет. Но уже в начале нового века этот флот был оснащён стратегическими ядерными ракетоносцами. Быстро развивается китайская программа создания атомных авианосцев. К середине века американские эксперты ожидают присутствия в военно-морских силах Китая четырёх-пяти авианосных ударных групп.

В 1970-е годы, когда китайское руководство повернулось лицом к гражданской ядерной энергетике, прямая передача советских технологий была уже невозможна. Отношения великих стран от «недружественных» дошли до военных столкновений.

Потребность же в ядерной энергетике становилась всё более очевидной. Большая часть электроэнергии в Китае производится из ископаемого топлива, причём доля угля в первичной энергии до сих пор превышает 60%. Быстрый рост экономики, особенно в энергоёмких отраслях обрабатывающей, химической и тяжёлой промышленности, привёл к нехватке элек-

троэнергии. Страна жила в условиях веерных отключений электричества в большинстве провинций. Загрязнение воздуха стало уже невыносимым – хронический и широко распространённый смог на востоке страны, высокое содержание в воздухе тонкодисперсных частиц, которое, по данным Всемирной организации здравоохранения, в Пекине превышало допустимый уровень в 40 раз, кислотные дожди, по площади выпадения занимающие 40% территории Китая – вот факты состояния окружающей среды.

К этому следует добавить аналогичную российской географическую диспропорцию между центром экономического роста на востоке КНР и ресурсодобывающими провинциями севера и запада. Половина железнодорожных мощностей страны занята перевозкой угля.

Результатом стали политические решения – наряду с возобновляемыми источниками, грандиозными гидропроектами (ГЭС «Три ущелья» – 18,2 ГВт, «Жёлтая река» – 15,8 ГВт) – начать сначала «умеренное развитие» (китайцы очень любят вмещающие много смысла формулировки) ядерной энергетики, которое было переведено в режим «активного развития» уже в новом веке.

Первая «волна» китайской ядерной энергетики, а это были 1980–90-е годы, базировалась на французской реакторной технологии. Чуть позже подошли канадские тяжеловодники. Американцы в то время ещё величественно игнорировали китайский рынок. Но главным китайским принципом,



Китайский подземный завод №816 по производству плутония стал уже туристическим объектом

неуклонно продвигаемым в жизнь, был обязательный рост «локализации» (так её называют), то есть процента компонентов атомных станций от китайских поставщиков. Только один пример: процент отечественных комплектующих основного на сегодня китайского реактора CPR-1000 – реплики французского 900-мегаваттника – со времён АЭС Daya Bay (1%) уже достиг 85%.

Стремительное развитие китайской ядерной энергетики в новом веке (в 2015 году она обогнала по установленной мощности сначала корейскую, потом российскую,

и начала подбираться к американской, на уровень которой (110 блоков) нацелилась выйти к 2030 году) базируется не только на европейском, но и на американском опыте. Фирма «Вестинггауз» добилась подписания протокола о намерении строительства в Китае сразу четырёх своих столь долго рекламируемых реакторов AP-1000 в 2007 году (российские ВВЭРы пришли в КНР чуть позже). Почти одновременно было создано китайско-французское предприятие по внедрению технологии европейского реактора нового поколения EPR.

В результате, в 2018 году произошло то, что вряд ли могло присниться в страшном сне американским и европейским создателям этих аппаратов: первые долгожданные AP-1000 и EPR-1600 были запущены не на их родине, а на китайской земле. «Локализованные» версии этих реакторов, CAP-1000 (в перспективе CAP-1400) и Hualong («Дракон»), должны составить основу китайской энергетики на ближайшие десятилетия. Нам остается утешаться тем, что для двух блоков ВВЭР, аналогичных последним тяньваньским, китайцы предложили площадку, где изначально американская компания должна была строить восьмиблочную АЭС. Так что впереди нас ждёт технополитическое чудо – атомная станция с российскими и американскими реакторами, мирно стоящими рядом.

Однако если свернуть с магистральной дороги мощных энергетических реакторов на тропинки «сопутствующих» реакторных технологий, то основополагающее влияние на китайскую ядерную жизнь ещё советского научно-технического задела становится вполне очевидным. Даже в «смутное время» вражды советские разработки обладали способностью просачиваться в китайские научно-исследовательские институты.

Давно заброшенная в нашей стране, идея одноцелевого атомного теплоснабжения в Китае, с его холодными зимами внутренних и северных провинций, была бережно скопирована в 1980-е годы на «институтском» уровне, когда бассейновый реактор отапливал Университет Цинхуа, а затем развита и доведена до проектов реакторов для централизованного теплоснабжения мощностью 200 и 400 МВт. Уже выбрана площадка для атомной станции районного теплоснабжения.

Китай не бросил направление, несправедливо обделённое вниманием остального атомного мира, – высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы. В нашей стране задел по этому направлению составил около 50 лет НИОКР, доведённых до технических проектов энерготехнологических реакторов и действующего прототипа космической установки с уникальной температурой газа в 3000 К. То, что всё это остановилось, – результат скорее технической политики. Не случайно, когда уже в этом веке специалисты ЮАР озадачились возрождением идеи высокотемпературного газо-

вого реактора, единственным местом на Земле, где можно было провести необходимые им реакторные эксперименты, были стенды Курчатовского института. Кстати, на них отрабатывались и китайские реакторы.

Мы настойчиво заявляем о необходимости сохранения высокотемпературного направления в российской «дорожной карте» НИОКР, правда, пока без заметного успеха. А вот китайцы объявили высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы (ВТГР) одним из приоритетов своего 15-летнего плана технологического развития. Демонстрационная станция Shidaowan с двумя реакторными модулями по 250 МВт(т) – первая АЭС этого типа в мире нового века. На подходе ВТГР мощностью 600 МВт(э). Наши китайские коллеги чётко следуют мудрой доктрине: «пусть расцветают все цветы» и не упускают имеющиеся в мире перспективные технологии.

После того, как американцы уже в 1950-х годах начали развивать жидкокислородные реакторы и к концу 1960-х благополучно их забросили, в нашей стране интерес к этой технологии не угасал в течение десятилетий. Исследования ведутся и в настоящее время, энтузиасты не перестают убеждать остальных в замечательных перспективах жидкокислородных реакторов. В это же время китайцы строят в пустыне Гоби два таких реактора, пуски которых намечены на 2020 год. В районе 2030 года ожидается уже коммерческое внедрение. К достоинствам жидкокислородной технологии относится её пригодность для вовлечения в топливный цикл тория, запасы которого в КНР достаточно велики, в то время как уран приходится импортировать. Похоже, и здесь китайцы будут первыми в мире.

В 2014 году китайская атомная корпорация подписала с Росатомом соглашение о совместном строительстве плавучих атомных станций (заметим, не только типа баржи, но и на собственном ходу), в основе которого

лежит наш проект ПАТЭС с реакторами КЛТ-40. Однако, как и всегда, китайцы не собираются зацикливатся на импортируемой технологии и интенсивно разрабатывают несколько собственных проектов малых реакторов для плавучих АЭС и морских платформ. Уже звучат рассуждения об «интеграции офшорной нефтяной и ядерной индустрии» и «подводных атомных станциях». В общем, всё как у нас. Не будем особен-



АЭС Taishan (первый EPR)

но удивляться, когда нас обгонят и в этом «истинно российском» направлении ядерного развития.

Там, где наши позиции не-пререкаемы – в области быстрых натриевых реакторов – китайские специалисты не отвлекаются на альтернативы. Первый китайский экспериментальный быстрый реактор CEFR – достижение нижегородского ОКБМ «Африкантов». Сердцевина знаменитого российско-китайского соглашения 2018 года – крупнейшей двусторонней сделки в истории ядерной энергетики – поставка комплектующих и топлива для китайского проекта крупномасштабного быстрого реактора CFR-600. Нельзя сказать, что откровенная передача лучшей в мире отечественной реакторной технологии быстрых реакторов нравится всем российским экспертам. Но с дороги, по которой мы пошли с середины прошлого века, сейчас уже меньше всего оснований сворачивать. Дружба с великим соседом дороже проекта БН-800 сорокалетней давности.

Но вернёмся к «шёлковому пути». Он уже называется «новым» и снабжён многозначительным лозунгом «Один пояс – один путь». Масштабы движения по нему из Китая впечатляют.

Пришедшая ещё из прошлого века традиция, своеобразный «подарок» для Индии – строительство атомных станций в Пакистане – продолжается на уровне последнего китайского достижения, реактора опять-таки «Дракон». Всё остальное представляет собой взрывную ядерную экспансию последних лет. Соглашения о строительстве реакторов в Румынии и Аргентине, об участии, вместе с французами, в возрождающемся атомном строительстве в Великобритании, продвинутые переговоры в Иране и Турции, планы построить первую АЭС в Польше – яркие примеры этой экспансии. А ещё намерения ядерного участия в энергетике не одного десятка стран: Индонезии, Алжира, Кении, Египта, ЮАР, Чехии и многих других. Эксперты считают, что к 2025 году российские и китайские реакторы будут производить две трети мирового объёма атомной энергии.

Вот здесь автор позволит себе высказать некоторые личные суждения. Интернациональными усилиями при достойном российском вкладе мы вырастили могучего конкурента в мирной ядерной энергетике. Конечно, политические решения на этом длинном пути могли быть иными, но ре-



АЭС Sanmen (первый AP-1000)



Тяньваньская АЭС с реакторами ВВЭР

зультат заметно не изменился бы, потому что он определяется огромными человеческими и материальными ресурсами великой страны, в сочетании с политической волей её руководства. А конкуренция будет только способствовать поступательному движению ядерной энергии в мире.

Наша политическая линия в этом движении очевидна. Сколько бы ни приходилось «прогибаться под изменчивый мир» (этого не делали только динозавры), место России в ядерном развитии будет определяться умением сохранить и приумножить научно-технический потенциал, накопленный ещё со времён Курчатова. Это едва ли не единственная область человеческих знаний и опыта, где высочайший российский уровень признаётся всем миром.

Если сложить вместе все составляющие ядерного потенциала, а они трудноразделимы, становится совершенно очевидно, что к двум странам-основателям «ядерной эры», США и России, присоединилась ещё одна великая держава. И распределение мест в этой тройке менее важно, чем то, кто «шагает рядом».

СНОВА ИЗ МОРЯ – ТЕПЕРЬ МАЛЫЕ АЭС

Автор крылатой фразы о рождении большой ядерной энергетики, «когда морские реакторы выползли на сушу», – верный соратник А.П. Александрова по созданию атомного флота Николай Сидорович Хлопкин. Действительно, «совместными» усилиями США и СССР судовые ядерные двигатели на базе реакторов с водой под давлением превратились в коммерческие атомные электростанции, составляющие сегодня более 60% всех АЭС мира. Заметим, что если в СССР это было предложенное И.В. Курчатовым государственное решение, то в США успех атомных субмарин убедил частные компании (Вестингауз, Дженерал Электрик) вкладываться в наземные станции. Кстати, создание в США первой чисто гражданской АЭС Шиппингпорт шло под личным контролем и «давлением» адмирала Рико-вера, а на её пуске присутствовал президент Эйзенхауэр.

Напомним о двух других «прообразах» гражданской ядерной энергетики. Больше половины из оставшихся 40% дали «наследники» первых ядерных реакторов в мире, то есть производителей оружейных материалов. В СССР это были водоохлаждаемые графитовые реакторы, в Великобритании и Франции – тоже графитовые, но газоохлаждаемые, в Канаде, Индии, Аргентине, Румынии и кое-где ещё – тяжеловодные.

Наконец, ещё одним распространённым типом реактора для больших АЭС стало направление, предложенное в начале 1950-х годов молодым американским инженером С. Унтермейером из Аргоннской национальной лаборатории. В отличие от двух других «истоков» ядерной энергетики, ре-

акторы с кипящей водой трудно заподозрить в военном прошлом. Как автор ни старался, ему не удалось найти «военного следа» в биографии кипящих реакторов. Даже первое использование уран-ториевых топливных элементов в 1957 году на реакторе BORAX-IV имело явный коммерческий смысл: оружейный уран-233 нарабатывался в США совсем на других реакторах и гораздо раньше. Так что расхожее утверждение, что «ядерная энергетика – детище атомной бомбы», не вполне точно.

Жёсткие экономические законы за пятнадцать лет заставили сетевую ядерную электроэнергетику преодолеть рубеж единичной мощности в 300 МВт(э), сегодня признаваемый МАГАТЭ областью малых реакторов. Кроме Индии, запускавшей 200-мегаваттные блоки до конца века, в 1970-е годы – пик атомного строительства – станции малой мощности в мире уже почти не строили.

Однако именно в этот первый период бурного роста интереса к сооружению АЭС ядерные установки малой мощности, безусловно, состоялись. Они стали неотъемлемой частью двух больших областей человеческой деятельности – атомного флота и исследовательских реакторов как для науки, так и для обучения новых атомщиков мира.

Примерно к этому же периоду относится и стремление создателей новой техники разработать малые наземные атомные источники энергии. Возникло стремление заставить их «путешествовать», сделать перемещаемыми в пространстве от заводов, где станцию можно создать, к удалённым потребителям, которым нужна энергия. Разрабатывались проекты множества мобильных установок на автомобильном и танковом ходу, а также на железнодорожной платформе. Некоторые из них были доведены до опытных образцов. Реальное воплощение в жизнь получили транспортабельные станции, сооружаемые в заводских условиях в блочном исполнении, которые могли перевозиться даже транспортной авиацией.

Первоначальные усилия по созданию малых атомных станций, как стационарных, так, в ещё большей степени, блочно-транспортабельных, передвижных или плавучих, были сосредоточены в США и СССР. Единичные установки в других странах были скорее исключениями из правила, как, например, уже упоминавшаяся спрятанная в скале под Стокгольмом 12-мегаваттная АЭС Огеста (1964–1974 годы).

В самом начале 1950-х годов серьёзное внимание к атомным станциям малой мощности (АСММ) было проявлено в США. За короткий период с декабря 1956 года до октября 1957 года четыре маленьких реактора в США начали генерировать электричество. В этих реакторах использовались три различных технологии (кипящие, с водой под давлением и с натриевым охлаждением), к тому же установки юридически представляли разные

формы организации: построенные в государственных лабораториях, прототип армейского реактора на военной базе и даже первая частная атомная станция, построенная по лицензии Комиссии по атомной энергии для энергетических целей (*Wallecitos Boiling Water Reactor*).

Из этих разработок выросла армейская программа создания атомных станций для энергоснабжения удалённых военных баз. За первым реактором SM-1 последовали ещё семь портативных или транспортабельных реакторов в диапазоне мощностей от 0,3 до 3 МВт(э), эксплуатировавшихся на Аляске, в Гренландии и даже в Антарктиде. В 1968 году на озере вблизи Панамского канала появилась плавучая американская АЭС МН-1А *Sturgis* мощностью 10 МВт(э), в которую было превращено видавшее виды судно *Liberty* («Свобода»). Она проработала 8 лет и обеспечивала проход судов по каналу, в основном для переброски войск и техники во Вьетнам.

В Советском Союзе стратегические работы в области малой атомной энергетики были начаты в середине 1950-х годов. Упомянем о нескольких интересных проектах, достигших стадии реализации. После выхода в 1957 году правительственного поручения о строительстве первой демонстрационной АСММ, получившей название ТЭС-3 («транспортабельная электрическая станция»), такая установка с водо-водяным реактором мощностью 1500 кВт(э) была спроектирована, сооружена и проработала 6 лет – правда, только на площадке Физико-энергетического института, рядом с первой АЭС.

Мобильная установка на колёсном ходу «Памир-630-Д» была создана в Институте атомной энергетики Белорусской ССР по заказу Министерства обороны. В установке в качестве теплоносителя и рабочего тела турбины



Мобильные ядерные установки США: МН-1 (плавучая АЭС, 1968 г.) и МЛ-1 (установка на трейлере, 1963 г.)

использовался диссоциирующий тетраоксид азота. Дело было доведено до двух опытных образцов передвижной АСММ и проведения её испытаний. События 1986 и 1991 годов остановили и эту работу. Кстати, в конце 2018 года автору показали концептуальный (теперь иногда говорят «обликовый») проект установки тоже на колёсном ходу с газоохлаждаемым быстрым реактором. Возрождением экзотического реактора занимается НИКИЭТ.

Справедливости ради надо сказать, что первый «атомный грузовик» МЛ-1 был создан в США и запущен в 1963 году при проектной мощности 300 кВт. Реально установка с газоохлаждаемым реактором проработала несколько сот часов с достигнутой мощностью 140 кВт. В 1965 году проект закрыли.

Однако похоже, и здесь предстоит новый виток спирали. В 2018 году армия США заказала разработку мобильных ядерных реакторов для повышения автономности военных объектов в зоне боевых операций. Они должны размещаться на обычных грузовиках и иметь габариты, позволяющие перевозить установку в грузовом отсеке самолёта. Требования по ресурсу – 10 лет, ожидаемые сроки ввода в эксплуатацию – до 2023–2025 года.

Уже упоминалось об опыте Курчатовского института по созданию энергоустановок на основе термоэлектрического прямого преобразования тепловой энергии в электрическую. В 1964 году была пущена первая в мире атомная термоэлектрическая установка «Ромашка» – наземный прототип бортового источника питания космического аппарата. В 1982 году в Курчатовском институте была создана атомная термоэлектрическая установка «Гамма», кстати, тоже «возникшая из моря». Своим рождением она была



Мобильные ядерные установки СССР: ТЭС-3 (1961 г.), Памир-630-Д (1986 г.)

обязана задаче энергетического питания глубоководных аппаратов. Отслужив 15-летнюю кампанию, установка стала базой для развития направления необслуживаемых атомных станций.

Как безусловно видит читатель, взлёт интереса к малым атомным станциям связан не столько с самим стремлением «отправить» атомную энергию на труднодоступные территории, сколько с потребностями именно оборонных ведомств. Вся эта активность в 80-е годы заметно угасла.

Что касается возврата ядерной энергии из мира больших АЭС в область малых модульных установок, то следует признать – он пока не состоялся. Редкие реализованные примеры обращения к технологиям PWR, строящийся аргентинский CAREM или готовый к этому корейский SMART тоже явно тяготеют к оборонной отрасли.

Исключением может считаться Билибинская АТЭЦ (4 блока по 12 МВт(э)) с водо-графитовыми реакторами (типа «первой в мире»). Её эксплуатация, начавшаяся в 1974 году, завершается, но дальнейшей реализации идеи стационарной малой атомной станции по модели «большой» АЭС со строительством на месте не состоялось. Российский производитель ядерной электроэнергии – концерн «Росэнергоатом» не рассматривает АЭС на Чукотке как прототип для будущего.

Как полагают специалисты, основное препятствие для распространения малых ядерных энергоисточников состоит в том, что до сих пор не найдено соответствие между требованиями высокой квалификации персонала и обеспечения безопасности при эксплуатации ядерных объектов, организации инфраструктуры и обслуживания с одной стороны, и интересами и возможностями потребителей децентрализованной энергии – с другой. У предлагаемой малой ядерной энергетики просто пока нет готового её воспринять заказчика.

Всплеск интереса к атомным станциям малой мощности, по крайней мере, на словах, наблюдается в мировом научном сообществе последние несколько лет. Для его характеристики вполне подходит заимствованное у классика определение «great expectations» («большие ожидания»). Он был подогрет, в частности, Министерством энергетики США, объявившим конкурс по финансированию проектов малых модульных реакторов в рамках государственной программы, призванной ускорить их коммерциализацию. В результате продвижение в жизнь начали около десятка проектов разных компаний. Всё это – стационарные установки. Аналогичный конкурс малых модульных реакторов запустило в 2016 году правительство Великобритании. Эксперты дружно пророчат малым реакторам перспективу коммерциализации даже в виде модульных АЭС в большой ядерной энергетике.

Характерный пример последнего времени. Как известно, из трёх десятков стран, интересующихся ядерной энергетикой, третья приходится на Африку. Так вот, американские эксперты настоятельно советуют африканцам не покупать большие российские или китайские АЭС, а предпочесть малые модульные реакторы, например, такие, как американский NuScale. Проблема лишь в том, что все страны-новички упорно стремятся покупать только проверенную технологию, а малым модульным реакторам до этого пока далеко.

В регулярно публикуемом МАГАТЭ обзоре по технологическому развитию малых модульных реакторов – несколько десятков проектов ряда стран. Однако претендовать на реализацию до 2030 года вряд ли могут более десяти. Подавляющее большинство относится к реакторам с водой под давлением в диапазоне мощности от 50 до 200 МВт(э).

В России ещё в 1990-х годах было принято, как сейчас говорят, «судьбоносное» решение. Для реального прорыва ядерных энергоисточников в отдалённые изолированные регионы решили сосредоточиться на плавучей АЭС. Уникальный гибрид, атомная станция для энергоснабжения суши, размещенная на несамоходной барже, – такого в мире ещё не было (хорошо забытый американский прототип винт имел). Основания для такого решения были вескими. Баржа, стоящая на заводе и возвращаемая потребителем для ремонта раз в двенадцать лет – это новый и обещающий огромные перспективы класс мобильных источников энергии. Наличие двигателя, работающего раз в десятилетие, представляется явно неэкономичным, хотя некоторую проблему его отсутствие впоследствии создало. Чуть забегая вперёд, расскажем о ней. Из-за этой особенности проекта возникла неопределенность с применением к плавучему энергоблоку существующих положений морского права, в котором отсутствует понятие «несамоходного плавучего ядерного объекта». В результате, когда дело дошло до загрузки топлива и первого пуска реакторов, изначально предполагавшихся на заводе-изготовителе в Санкт-Петербурге, как многократно делалось на атомных кораблях, от этого пришлось отказаться. Чтобы избежать «серых зон» в правовых документах и неясности результатов переговоров со странами Балто-Скандинавского региона, загрузку топлива пришлось перенести в Мурманск. Но это уже трудности 2017 года.

Контракт же на строительство ПАТЭС на «Северном машиностроительном предприятии», для энергопитания которого и предполагалось использовать головной блок, был подписан летом 2006 года в обстановке «глубокого воодушевления» средств массовой информации. Было объявлено, что первая плавучая атомная станция начнёт работать в 2010 году.

С морской точки зрения ПАТЭС (позже ей дали имя «Академик Ломоносов») – это гладкопалубное, не имеющее надстроек на палубе надводного борта несамоходное судно. Его длина – 144 м, ширина – около 40 м, водоизмещение – 21 тысяча тонн. Кстати, это заметно больше, чем у ледокола «Ленин». В качестве ядерной установки была выбрана энергоустановка атомных ледоколов КЛТ-40, уже продемонстрировавшая высокий уровень надёжности и безопасности. Станция оснащена двумя реакторными установками КЛТ-40С, которые способны вырабатывать 70 МВт электроэнергии и 50 Гкал/ч тепла. ПАТЭС может использоваться и для орошения воды, что в перспективе даст возможность использовать её и в южных широтах. Проект энергоблока был разработан в соответствии с требованиями МАГАТЭ по безопасности и с большим запасом прочности, который, по мнению специалистов, делает реакторы плавучего блока неуязвимыми для цунами и других природных катализмов.

Немного обидно, что сравнительно молодой профсоюз специалистов морской отрасли Nautilus International (ему десять лет) включил ПАТЭС в публикуемую им десятку «самых некрасивых судов мира», хотя и на «не-призовом» четвёртом месте, наряду с проектом автомобилевоза, использующего энергию ветра, голландским паромом и панамским скотовозом корейской постройки. Но думаю, этот вызов морских эстетов мы как-нибудь переживём. Всё-таки безопасное производство энергии не обязательно должно быть ещё и внешне красивым.

Сказать, что строительство ПАТЭС шло трудно, – просто ничего не сказать. Оно пережило смену завода-изготовителя, неоднократную смену первой площадки (Северодвинск, Вилючинск, Певек) и, может быть, наиболее неприятное – переработку проекта под низкообогащённое топливо.

К сожалению, вызванные переделкой активной зоны ограничения её энергозапаса и, соответственно, необходимый интервал между перегрузками ядерного топлива всего лишь в 2–3 года, привели к установке на энергоблоке оборудования для перегрузки и хранения облучённого ядерного топлива. Это не соответствует важнейшему концептуальному требованию к перспективным плавучим станциям – отсутствию работ с ядерным топливом в месте эксплуатации. Для будущего международного успеха такое качество плавучей АЭС ещё предстоит обеспечить.

Осенью 2019 года ПЭБ «Академик Ломоносов» прибыл в «порт приписки» – чукотский Певек.

Разумеется, этому выстраданному и многообещающему проекту ещё предстоит доказать своё право на продолжение и развитие. Но уже разрабатываются два варианта оптимизированных энергоблоков с реакторными установками РИТМ-200М для плавучих атомных электростанций.



ПАТЭС «Академик Ломоносов»
на Чукотке, 2019 г.

Наследник «Академика Ломоносова» будет гораздо мощнее, легче и экономичнее, а главное – сможет 10 лет работать без перегрузки топлива, то есть ему не нужен перегрузочный комплекс и хранилища топлива и отходов. Инновационный вариант – новое слово в кораблестроении – самоходное судно, способное работать на достаточном удалении от берега и обеспечивать электроэнергией не только береговые, но и надводные, и подводные объекты.

Первенство России в этом направлении развития малых АЭС вполне объективно. Огромная морская граница с рассредоточенными потребителями идеально подходит для такого способа энергоснабжения. Правда, не надо думать, что мы долго будем одиноки. Наши китайские коллеги, которые, как мы уже видели, слов на ветер не бросают, также приступили к созданию атомных станций на морских платформах.

Разработчики традиционных стационарных атомных станций в России не отстают от зарубежных коллег в утверждении неизбежности «светлого будущего». Целую линейку проектов, начиная с мощности 6 МВт(э), предлагает НИКИЭТ, хотя и испытывает проблемы с референтностью заложенных в их основу технических решений. Создатели ВВЭР имеют предложение в виде интегральной реакторной установки в диапазоне мощностей 100–300 МВт, хотя их активность в продвижении идеи малых ВВЭР явно не соответствует усилиям по «большим» проектам. Пожалуй, наилучшие перспективы у «обликового» проекта малой сухопутной АЭС, выполненного в ОКБМ «Африкантов» и опирающегося на уже серийное изготовление тех же реакторных установок РИТМ-200. Разработчики обоснованно утверждают, что использование реакторных установок универсального ледокола с минимальными доработками позволяет в короткие сроки создать наземную станцию. Похоже, что новый выход атомных установок «из моря на сушу» не за горами. Росатом уже готовит правительству перечень конкретных площадок, пригодных для размещения малых атомных электростанций. Это очень похоже на настоящую «разведку боем».

ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Читателю представлены «выбранные места» из непрерывного потока ядерной жизни, причём не столько стремнинь, сколько мели и перекаты. Конечно, здесь не может быть ответа на вопрос: будет ли мирный атом становиться всё более весомым вкладом в благосостояние человечества. Будущее покажет.

За глобальным вопросом – множество частных, но вполне интересных. Какие придуманные отцами-основателями ядерной эры технологии сумеют вернуться в строй, станет ли реальностью анонсированный поход в область малых АЭС, состоится ли симбиоз атомной энергии деления и синтеза и многое, многое другое.

Хочется надеяться, что найдутся ещё энтузиасты, которым будет интересно собирать воедино бесконечные свидетельства уже пройденного и нового в использовании атомной энергии, объединённые амбициозной идеей, что в этой специфической области человеческой деятельности отнюдь не «распалась связь времён», и есть многое, что необходимо сохранить в памяти сегодняшних и завтраших созидателей прогресса.

Сам же автор снова обращается к Николаю Васильевичу Гоголю за наукой общения с читателем. Сначала: «Сердце мне говорит, что моя книга нужна и что она может быть полезна». Потом: «Прошу прощения у моих читателей, если и в этой самой книге встретится что-нибудь неприятное или кого-нибудь из них оскорбляющее. Прошу их не питать против меня гнева сокровенного, но вместо этого выставить благородно все недостатки, какие могут быть найдены ими в этой книге». Не думаю, что отношения пишущих и читающих сильно изменились за какие-то сто семьдесят лет.



КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Андрей Юрьевич Гагаринский (1939 г. р.) после окончания Московского инженерно-физического института с 1962 года работает в Институте атомной энергии, ныне Национальном исследовательском центре «Курчатовский институт».

Он начинал свою научную деятельность как экспериментатор на критических сборках, где отрабатывалась физика морских реакторов. За участие в создании новой техники награждён орденом «Знак почета». Один из организаторов российского вклада в международный банк оценённых данных по ядерной критичности.

А.Ю. Гагаринский участвовал в ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году и в течение нескольких последующих лет. Награждён орденом Мужества.

В настоящее время область научных интересов автора, с 1984 года доктора физико-математических наук, – системные энергетические исследования. Он – участник творческого коллектива курчатовских экспертов, написавших серию монографий об энергетике мира и России XXI века – «взгляд с позиции физиков», автор множества научных работ о ядерной энергетике, а также (в том числе в соавторстве) научно-популярных книг «Люди и атом» (три издания, 2013, 2014 и 2018 гг.), «Курчатовцы и атомный флот», «Курчатовские реакторы».

В 2019 г. А.Ю. Гагаринский за заслуги в освоении атомной энергии и в связи с 75-летием НИЦ «Курчатовский институт» награждён Орденом Александра Невского.

В книге использованы фотографии из источников:

- стр. 9, 27, 29, 35, 38, 55, 56
103, 104, 145, 160 (правая) Фотоархив НИЦ «Курчатовский
институт»;
стр. 14 www.trinityremembered.com;
стр. 19 Музей ядерного оружия РФЯЦ-ВНИИЭФ;
стр. 22, 40, 46-50, 53, 135, 159 Книга G. Marcus «Nuclear firsts»;
стр. 32 Атомная энергия, 2017. Т. 123, №4
стр. 37, 99, 107, 108, 112 Фотоархив автора;
стр. 43 www.varlamov.ru;
стр. 61 www.niar.ru;
стр. 64 www.trendymen.ru;
стр. 69, 98, 124, 126, 130 www.atomic-energy.ru;
стр. 72 www.korabli.ucoz.ru;
стр. 74 www.deepstorm.ru;
стр. 78 www.humaninside.ru, www.3mv.ru;
стр. 79, 137, 155 www.rosatom.ru;
стр. 80 www.vestifinance.ru;
стр. 81 www.topwar.ru, www.atominfo.ru;
стр. 85 www.tayga.info, www.sibghk.ru;
стр. 87, 88 www.miraes.ru;
стр. 89 www.bellona.org (фото FinnWikiNo);
стр. 95 www.hanoitourist.com.vn, www.holzori.ru;
стр. 97 www.thisdayinaviation.com;
стр. 109 www.veteranrosatom.ru;
стр. 113 www.neimagazine.com;
стр. 114 www.gnti.ru;
стр. 118 www.bbc.com;
стр. 121 www.mosenergo.ru;
стр. 122, 123 www.rosteplo.ru,
стр. 128 www.gprox.com;
стр. 129 www.wonderfulnature.ru (фото LIBOR ZICHA);
стр. 140 www.commonswikimedia.org (фото Yann Forget)
стр. 141 www.zavtra.ru;
стр. 146 www.energy.gov;
стр. 147 www.nuclear.duke-energy.com, www.ornl.gov;
стр. 148 www.tech.onliner.by;
стр. 152 www.fissilematerials.org;
стр. 154 www.energyglobalnews.com;
стр. 155 www.post-gazette.com;
стр. 160 (левая) www.ippe.obninsk.ru;
стр. 164 www.tass.ru

На обложке – фотография из архива автора

Гагаринский А.Ю.

РАЗВЕДКА БОЕМ

Выбранные места из ядерной жизни

Дизайн обложки: М.А. Мишин

Корректор: В.В. Новикова

Вёрстка: М.Т. Дериглазова

**Иллюстративные материалы
предоставлены автором**

Печать цифровая.

Подписано в печать 10.02.2020

Тираж 600 экз. Заказ 4

**Отпечатано в НИЦ «Курчатовский институт»
123182, Москва, пл. Академика Курчатова, д.1**

© НИЦ «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»