
ЭТЮДЫ ОБ УЧЁНЫХ

ИЗ ПЛЕЯДЫ ТИТАНОВ АТОМНОГО ВЕКА К 120-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АКАДЕМИКА А.П. АЛЕКСАНДРОВА

© 2023 г. **А. Ю. Гагаринский**^{а,*}

^аНациональный исследовательский центр “Курчатовский институт”, Москва, Россия

*E-mail: Gagarinsky_AY@nrcki.ru

Поступила в редакцию 13.06.2023 г.

После доработки 20.06.2023 г.

Принята к публикации 27.06.2023 г.

13 февраля 2023 г. исполнилось 120 лет со дня рождения одного из главных героев атомной эпохи, трижды героя Социалистического труда, академика А.П. Александрова. Сейчас начинается возрождаться интерес к истории России, к науке и её выдающимся представителям, и наша цель — напомнить читателям ключевые этапы многогранной деятельности великого учёного и инженера в становлении и развитии атомной энергетики в нашей стране.

Ключевые слова: А.П. Александров, атомная наука и техника, морской флот, ядерная энергетика, атомный проект.

DOI: 10.31857/S0869587323070022, **EDN:** ZLUKUB

Академики И.В. Курчатов и А.П. Александров — одни из основоположников легендарного советского атомного проекта. Масштаб личности Игоря Васильевича — научного руководителя проекта, его выдающийся вклад в науку и оборонную способность СССР отражает монументальный памятник на площади Курчатова в Москве. К сожалению, он слишком рано скончался — в 1960 г., и институтом, названным в его честь, на протяжении почти 30 лет руководил его друг, сподвижник и продолжатель всех его дел — Анатолий Петрович Александров. Он смог не только развить направления, заложенные Игорем Васильевичем (от ядерной физики и реакторного материаловедения до генетики), но и дать старт целому ряду новых, ставших основой для многих отраслей промышленности, а также национальной безопасности нашей страны.

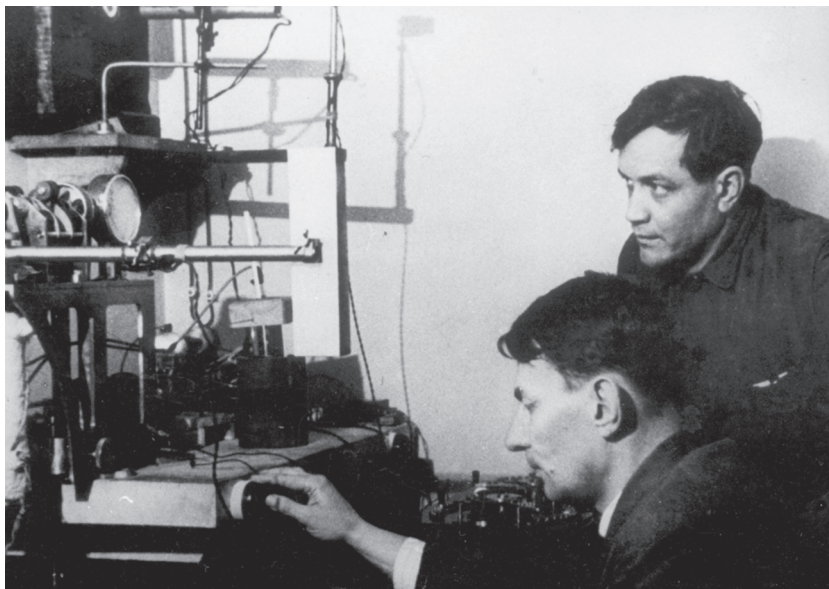
Они шли бок о бок 30 лет — начиная с 1930 г., когда молодой физик Игорь Курчатов познакомился во время своей командировки в Киев с таким же молодым и талантливым физиком Анатолием Александровым. По возвращении в Ленинград Курчатов порекомендовал его А.Ф. Иоффе, и с тех пор они стали вместе работать в легендарном Ленинградском физтехе. До начала Великой

Отечественной войны каждый из них занимался своим научным направлением: Курчатов — физикой ядра, Александров — физикой полимеров. Безусловно, на протяжении всего этого времени



Анатолий Петрович Александров (1903–1994)

ГАГАРИНСКИЙ Андрей Юрьевич — доктор физико-математических наук, советник директора НИЦ “Курчатовский институт”.



А.П. Александров (сидит) с Б.А. Гасевым в лаборатории полимеров ЛФТИ, 1940 г.

они много общались, но первым их общим делом стало размагничивание кораблей летом 1941 г. в героически сражающемся Севастополе. Анатолий Петрович до конца дней считал эту работу, благодаря которой на магнитных минах не подорвался ни один советский корабль, самой важной в своей жизни.

И.В. Курчатова назначили научным руководителем советского атомного проекта, и в 1943 г. он уже призвал к сотрудничеству А.П. Александрова. Они были рядом во время всех ключевых событий первого этапа развития проекта: испытания первых атомной и термоядерной бомб, запуска первой АЭС в Обнинске, спуска на воду первенца советского атомного подводного флота подводной лодки “Ленинский комсомол” и первого в мире атомного ледокола “Ленин”. Решение задачи размещения в компактном пространстве множества технических устройств и приборов в рамках этих проектов во многом стимулировало развитие советской полупроводниковой промышленности.

При Анатолии Петровиче в 1960 г. Институт атомной энергии (ИАЭ) стал носить имя Курчатова, и Александров возглавлял это огромное научное объединение на протяжении 30 лет. Уникальный для отечественной науки факт: Александров совмещал колоссальную ответственность и нагрузку как директор Курчатовского института с руководством Академией наук СССР с 1975 по 1986 г.

Имя А.П. Александрова связано прежде всего с атомным флотом, “отцом” которого его по праву нарекли сами моряки. Именно благодаря ему в этой сфере (в частности, в атомном ледокольном флоте) СССР догнал и обошел не только США,

но и весь мир. Его огромная заслуга — переход атомной энергетики от первого, по сути, прототипа промышленного реактора, запущенного Курчатовым в Обнинске в 1954 г., до мощнейшей наукоёмкой отрасли, обеспечивавшей энергией потребности городов и крупнейших производств. В 1960–1980-е годы Александров создал сеть ядерно-физических институтов по всей стране. Он сочетал в себе уникальные способности организатора науки и научную интуицию. Возглавив АН СССР, он чётко выделил самые перспективные на тот момент направления: микроэлектронику, лазерные технологии, синхротронно-нейтронные и генетические исследования, введя их в круг государственных интересов. Именно поэтому облик современной российской науки во многом был сформирован А.П. Александровым.

В 1970-х — начале 1980-х годов во всём мире началось развитие микроэлектроники — гонка, в которой мы занимали хорошие позиции. Анатолий Петрович как президент АН СССР запустил государственную программу по развитию микроэлектроники, понимая, насколько она важна. В конце 1970-х годов в рамках развития новых перспективных технологических направлений по инициативе Е.П. Велихова и при поддержке А.П. Александрова был организован Научно-исследовательский центр по технологическим лазерам в Шатуре. Здесь наряду с фундаментальными исследованиями разрабатывались технологические лазеры и соответствующая техника. В этот же период по инициативе Анатолия Петровича был дан старт созданию уникальной системы технологического накопительного комплекса “Литография рентгеновская на синхротронном ис-

точнике”. Для этого был построен промышленный синхротронный источник в Зеленограде (в Научно-исследовательском институте физических проблем им. Ф.В. Лукина, ныне входящем в состав НИЦ “Курчатовский институт”) и Курчатовский специализированный источник синхротронного излучения в Москве.

Важно подчеркнуть, что Александров возглавлял Академию наук долгих 11 лет. По мнению многих, он стал одним из лучших президентов АН СССР за всю её историю. Время его руководства академией совпало с расцветом науки и техники в Советском Союзе. Анатолий Петрович был высочайшим авторитетом и для руководства СССР, и для учёных. Именно в этот период по его инициативе и при поддержке руководства страны было создано множество новых институтов, ориентированных на развитие новой науки и технологий. В 1984 г. в АН СССР при непосредственном участии А.П. Александрова образовалось новое Отделение информатики, вычислительной техники и автоматизации, в котором занимались информационными технологиями, микроэлектроникой, а в дальнейшем — квантовыми технологиями и искусственным интеллектом.

Помимо того, что А.П. Александров был выдающимся учёным-инженером, он живо интересовался искусством. В 1950–1960-е годы, в период уникального явления в общественной и культурной жизни нашей страны — оттепели, большое значение приобрели дома культуры Курчатовского института, а также в Дубне, Обнинске и других закрытых в то время городах и посёлках. Именно там проходили уникальные встречи, общение учёных с писателями, поэтами, артистами и музыкантами. Курчатовский ДК был одним из самых известных площадок, на его сцене выступали лучшие представители советской культуры. Анатолий Петрович активно поддерживал это направление, покровительствовал ему. Именно поэтому сегодня дом учёных Курчатовского института носит его имя.

Академик, трижды герой Социалистического труда, президент АН СССР и директор Института атомной энергии — А.П. Александров обладал огромным авторитетом, был олицетворением советской науки и системы в целом. Неслучайно его избрали объектом гонений в связи с мнимой виной за аварию на Чернобыльской АЭС. Чернобыль стал в каком-то смысле не только технологической аварией, но и катастрофой всей советской системы, идеологической бомбой под СССР, исключительно удобной для раскручивания образа плохо управляемой страны, опасной для мира. Легендарная фигура Александрова оказалась одной из составляющих постчернобыльской истории. Он умер зимой 1994 г., в самый разгар “лихих девяностых” — провальных лет и для науки, и

для всей нашей страны. К сожалению, в последние годы его имя незаслуженно оказалось в тени, что связано с общим периодом безвременья, подмены жизненных ценностей, ориентиров для подражания у молодого поколения. Сегодня идёт процесс возвращения к истокам, возрождения интереса к истории России, к науке и её выдающимся деятелям.

Анатолий Петрович Александров — несомненно, ярчайшая личность, великий учёный, инженер, организатор науки и патриот, гордость и слава нашей страны. Нет необходимости пересказывать в статье всю его биографию, но ключевые этапы его многогранной деятельности и некоторые интересные эпизоды стоит напомнить современному читателю. Автор данной статьи, А.Ю. Гагаринский, много лет проработавший под руководством А.П. Александрова в Курчатовском институте, поделился здесь своими воспоминаниями. Также в неё вошли отрывки из воспоминаний самого Анатолия Петровича и его коллег о разных этапах их многогранной деятельности на благо страны и мира.

*Член-корреспондент РАН М.В. Ковальчук,
президент НИЦ “Курчатовский институт”*

*Академик РАН Г.Я. Красников,
президент РАН*

“Жизнь всегда должна наполняться интересной, напряжённой работой”.

А.П. Александров

Александров и атомная бомба. И.В. Курчатов привлёк А.П. Александрова к атомному проекту уже в 1943 г. Анатолию Петровичу было предложено заняться очень трудной составляющей проекта — одним из возможных направлений разделения изотопов. В своих воспоминаниях он писал: “Когда я уже всерьёз занялся урановой тематикой и перешёл под начальство Игоря Васильевича, у меня с ним был интересный разговор. Я тогда сказал ему, что согласен работать в этом направлении, но у меня есть два пожелания: не работать непосредственно над бомбой и раз в году иметь месячный отпуск” [1, с. 114]. Как подтверждал Александров, Курчатов согласился, и эти просьбы почти всегда выполнялись. Не осталось объяснений, почему он выдвинул условие про бомбу, а предположения и догадки вынесем за скобки.

Работы по термодиффузному разделению изотопов урана быстро показали его чрезвычайную энергоёмкость. Когда были чётко определены эффективные технологии решения проблемы разделения изотопов, Игорь Васильевич предложил Анатолию Петровичу включиться в задачу создания реакторов-наработчиков плутония, и эта провидческая идея в будущем определила



А.П. Александров (второй слева) с членами экипажа подводной лодки, 1936 г.

“атомный век Александрова”. Первый реактор-наработчик плутония был запущен Курчатовым в июне 1948 г., затем огромное дело по созданию реакторов плутониевой промышленности страны постепенно перешло к Александрову.

С 1946 г. А.П. Александров занимал пост директора Института физических проблем АН СССР, а весной 1948 г. был утверждён на должность заместителя начальника Лаборатории № 2 АН СССР и назначен научным руководителем промышленных реакторов-наработчиков оружейного плутония. В этот период завершались работы по монтажу первого промышленного реактора “А”. Следующий реактор разрабатывался уже под его руководством. Потом каждый год вводили по одному промышленному реактору, а то и по два. За 1948–1965 гг. было построено 13 промышленных уран-графитовых реакторов в Челябинске-40 (ныне — Озёрск), Томске-7 (ныне — Северск) и Красноярске-26 (ныне — Железногорск). Из них пять не только нарабатывали оружейный плутоний, но и снабжали электроэнергией и теплом Томск-7 и Красноярск-26 [1].

Все эти годы Александров как научный руководитель направления промышленных реакторов принимал непосредственное участие в вопросах их проектирования, пуска и эксплуатации. Он не боялся взять на себя ответственность за всё: от физики активной зоны и её конструктивной надёжности до оптимизации строительных конструкций, систем энерго- и водоснабжения. Таким образом, не занимаясь конструкцией ядерного оружия, учёный внёс огромный вклад в

создание для него делящегося материала — плутония — и продолжал научное руководство этой ключевой отраслью ядерной промышленности практически вплоть до достижения паритета ядерных арсеналов СССР и США.

Александров и флот. Анатолий Петрович вспоминал: “Это было очень давно, в 1933 году. Однажды ко мне в лабораторию пришёл Абрам Фёдорович Иоффе и привёл с собой двух моряков... Были приняты всякие меры для того, чтобы оградить гавани от подводных лодок... Было несколько случаев таких нападений на базы флота. Ну и стали эти гавани заграждать сетями... И речь пошла о том, чтобы для нашего флота, который в это время начали воссоздавать, для него разработать такие способы, чтобы лодки могли проходить через сетевые заграждения” [1, с. 56]. Тогда им был создан электродуговой прорезатель противолодочных сетевых заграждений “Сом”, испытанный в Севастополе и доказавший свою эффективность.

Затем возникла необходимость разработки методов защиты кораблей от мин, которая увенчалась успехом. Таким образом, ещё до начала Великой Отечественной войны метод обмоточного размагничивания был признан моряками и принят на вооружение к началу 1941 г., конечно, не без “сопротивления среды”. Об этом писал один из любимых учеников Анатолия Петровича, видный курчатовский физик Н.А. Черноплёков: «Его знаменитые работы по размагничиванию кораблей (защите от магнитных мин) были встречены “в штыхы” многими представителями командо-

вания флота и технических служб. А.П. пришлось приложить грандиозные усилия, чтобы преодолеть это. Коллектив ленинградских физтеховцев совместно с моряками осуществили грандиозную работу на многих флотах по размагничиванию и спасли не одну сотню кораблей. За это им великая честь» [2, с. 57, 58; 3–5].

Вскоре настала пора атомного флота, и Анатолий Петрович вспоминал: “Ну, например, идея сделать первую атомную подводную лодку у нас возникла ещё в институте Физпроблем, примерно в 48 году. Была сделана довольно подробная проработка, как может выглядеть реактор такой маленький, который легко уместить на лодке. Но нам это запретили делать тогда, чтобы концентрировать усилия на главной задаче. А потом, когда у нас всё это уже пошло, то разрешили действовать в этом направлении тоже. И вот тогда была разработана, ещё в институте Физпроблем, идея ядерного реактора высокотемпературного, с гелиевым охлаждением” [1, с. 168].

В 1950 г. в США была утверждена кораблестроительная программа, предусматривавшая строительство атомной подводной лодки: закладка “Наутилуса” состоялась в 1952 г., а ввод в эксплуатацию в 1954 г. Советское руководство не собиралось отставать. После успешного испытания первой советской атомной бомбы в 1949 г. начала разворачиваться работа по корабельным атомным энергоустановкам. В ноябре того же года научно-технический совет при Спецкомитете по инициативе И.В. Курчатова рассмотрел и поддерживал подготовленные в Лаборатории измерительных приборов АН СССР (ЛИПАН – так с 1949 по 1954 г. назывался Курчатовский институт) соображения о возможности создания атомного двигателя для кораблей (применительно к подводной лодке) в трёх вариантах: с водяным, газовым и жидкометаллическим охлаждением. Анатолий Петрович был назначен научным руководителем сектора, занимавшегося разработкой корабельных реакторов.

В июле 1952 г. И.В. Курчатов и А.П. Александров вместе с Н.А. Доллежалем обратились в Правительство СССР с предложением приступить к разработке и созданию первой отечественной подводной лодки с энергосиловым комплексом, использующим атомную энергию. Здесь уместно снова обратиться к воспоминаниям Анатолия Петровича: “Мы начали заниматься этим осенью 52 года, когда я подстрелился и лежал в больнице... В это время как-то приехал ко мне Игорь Васильевич и сказал, что, значит, эту тематику мы сейчас имеем право развивать... Меня назначили руководителем этих работ. Мы начали в 52 году, осенью. Причём начали в высшей степени нахально. Значит, назначили нам такое СКБ во главе с Перегудовым Владимиром Николаевичем. Очень, надо сказать, толковый кораблестроитель был, замечательный. И имевший такой настоя-

щий опыт подводника, потому что он участвовал в испанской войне как подводник. И вот, мы с ним начали работать. И поначалу было очень смешно. Мы ничего не должны были сообщать им о наших устройствах для начала. Но мы ещё сами не знали, как мы будем делать. Но чтобы всё дело развивалось, мы с ним договорились так: вот мы оставляем такое белое место на чертеже, в этом белом месте будет сидеть наша установка, она будет весить столько-то тонн, и она будет иметь центр тяжести вот в этой точке, а оттуда будет выходить труба-паропровод, даже два паропровода, которые, значит, нужно будет цеплять к турбине... В начале разработки мы перебрали, вероятно, два десятка разных вариантов реактора. Очень трудно было сказать, на каком из них остановиться” [1, с. 168, 169]. В итоге, когда началась разработка идеи реактора с водяным замедлителем на сильно обогащённом топливе (кстати, Анатолий Петрович писал: “Но у нас в это время не было никаких сведений относительно того, какое решение приняли американцы” [1, с. 169]), уже первые успешные шаги привели к дальнейшему развитию проекта.

Первоначально основной задачей экспериментального корабля ставилось нанесение ударов по прибрежным районам вероятного противника, для чего проектировалась фантастическая торпеда калибра 1550 мм, способная нести термоядерный заряд тогдашних габаритов. В окончательном варианте лодка была снабжена торпедным оружием, предназначавшимся для борьбы с боевыми кораблями на океанских коммуникациях. Закладка первой в СССР атомной подводной лодки (АПЛ) состоялась в сентябре 1955 г., а знаменитая запись в вахтовом журнале “впервые получен пар без угля и мазута” была сделана в апреле 1958 г. Как точно подметил первый помощник Анатолия Петровича во всех его последующих флотских делах Н.С. Хлопкин, “на флоте был произведён технический переворот, аналогичный переходу от парусного флота к паровому” [6, с. 581].

А.П. Александров в своих воспоминаниях фактически описал момент, когда из создателя первого атомного двигателя для подводной лодки он превратился в “отца атомного флота” страны: “И лодку в 57 году спустили на воду... Чрезвычайно важно было тогда то, что мы могли, и не имея доказательств, но просто по нашему убеждению – если мы считали, что что-то уже стоит пускать в промышленность, то, хотя опыты у нас ещё не готовы, но мы считаем, что они кончатся так-то и так-то, нам это разрешалось. Мы – это Игорь Васильевич, я, Ванников тот же, Малышев, Славский, Первухин. Вот вся эта компания. Если мы выходили с решением Совета, что вот сделать такую-то вещь, то нам это подтверждали. Когда мы строили первую лодку, то мне был задан вопрос – как я считаю, можно ли переходить к строитель-

ству серии. Я сказал так: Надо иметь в виду, что никакого опыта по работе установки нет. Я убеждён в том, что в ней кое-что окажется плохим, и придётся его заменить. Но я убеждён также в том, что основа вся останется. И поэтому считаю, что нет риска строить серию. И стали строить серию. У нас на следующий год после спуска первой лодки было уже четыре лодки” [1, с. 171].

Разумеется, при эксплуатации АПЛ с паропроизводящими установками ВМ-А первого поколения выявились изъяны (недостаточная надёжность парогенераторов и малый энергетический запас реакторов, приводившие к частым перегрузкам ядерного топлива), потребовавшие от научного руководителя быстрых решений. Но уже к середине 1960-х годов и в установке ВМ-А, и в реакторах следующих поколений главные недостатки были устранены. Всего до конца 1960-х годов было построено 55 лодок первого поколения. Монополия США в этой области военной техники была ликвидирована. При этом Александров был научным руководителем не только работ по созданию ядерных установок, но и огромного комплекса других разработок, сопутствующих рождению кораблей нового класса, — от вооружения, гидроакустики, кораблестроительных вопросов вплоть до дизайна кают личного состава.

В непрекращающейся гонке вооружений от каждого последующего поколения АПЛ требовались повышенные водоизмещение и мощность энергетических установок, обусловленные новыми видами оружия и габаритами ракетных отсеков. Головной корабль второго поколения вошёл в состав флота в 1967 г. Его водоизмещение составляло уже 9,6 тыс. т против 5 тыс. т у проектов первого поколения. Для второго поколения была разработана своя реакторная установка ВМ-4 с повышенными надёжностью и ресурсом работы. Таким образом, каждое (в том числе и последующие) поколение имело свою унифицированную реакторную установку — блестящее достижение её создателей и научного руководителя, оказавшее огромный экономический эффект на судостроительную промышленность. Серийное строительство лодок второго поколения продолжалось до 1992 г. Они остались служить флоту и в XXI в.

В начале 1970-х годов была устранена необходимость преодоления рубежей противолодочной обороны. Создание межконтинентальной ракеты морского базирования позволило АПЛ совершать боевое патрулирование в прилегающих к территории СССР морях. Подводные ракетносцы стали наименее уязвимым компонентом стратегических сил. Реакторная установка ОК-650 мощностью 190 МВт (для сравнения, мощность установок предыдущих поколений — 70–90 МВт) обеспечила атомоходу высокую подводную скорость, а системы шумоподавления сделали его са-

мым “неслышимым” из советских АПЛ. В 1976–1989 гг., то есть ещё при жизни Анатолия Петровича, было построено шесть АПЛ этого поколения. Он действительно был создателем трёх поколений атомного флота страны, и сейчас, когда реальные очертания приобретает уже пятое поколение, моряки всё ещё помнят, кто заложил основы отечественного атомного флота.

Когда в США и СССР появились первые атомные подводные лодки, рождение надводных атомных судов стало только делом времени. Первый в мире атомоход “Ленин” был принят в эксплуатацию в декабре 1959 г. Американский атомный крейсер “Лонг-Бич” вошёл в состав флота в 1961 г. Подписанное в 1953 г. постановление Совмина СССР о проектировании и строительстве атомного ледокола для Арктики, подготовленное, естественно, по предложению И.В. Курчатова, А.П. Александрова и руководителей отечественной промышленности, имело любопытную предысторию. По описанию Б.Г. Пологих — одного из главных помощников Александрова в этом деле: “22 мая 1947 г. Правительство приняло новый план, предусматривающий создание мощных ледоколов, способных обеспечить сквозное плавание по Северному морскому пути транспортных судов... В 1948 г. работа над проектом ледокола приближалась к завершению... но уже в 1950 г. всё это было остановлено. В связи с начавшимся периодом холодной войны ЦКБ было прекращено на создание крейсеров... В 1953 г. у нас уже полным ходом шли работы по созданию атомной подводной лодки... Создавалась уверенность, что реакторы аналогичного типа можно будет с успехом применять на судах мирного назначения. Именно это и позволило выйти с предложением о строительстве атомного ледокола” [7, с. 99]. Естественно, научным руководителем был назначен академик А.П. Александров.

Кстати, в числе нескольких рассматриваемых вариантов гражданского атомного судна была даже сохранившаяся в истории экзотическая идея — снабдить атомным двигателем флагман китобойной флотилии. Пресекло её, по-видимому, нежелательно близкое соседство мирного атома и получаемой продукции. В итоге остановились на атомном ледоколе, и это решение стало судьбоносным.

Когда весной 1956 г. с трибуны XX съезда КПСС И.В. Курчатов вызвал оживление в зале информацией о техническом проекте ледокола с атомным двигателем, который “будет проводить суда по Северному морскому пути, взламывая лёд, без пополнения топливом в течение 2–3 лет” [8, с. 469], его закладка на стапеле Адмиралтейского завода в Ленинграде уже была близка. Осенью 1958 г. состоялась II Женевская конференция по мирному использованию атомной энергии, где А.П. Александров представил блестящий, по об-



Анатолий Петрович Александров и Игорь Васильевич Курчатов, 1956 г.

шему мнению, доклад о создании атомного ледокола. Особый интерес вызвало решение построить атомное судно без предварительной отработки ядерной энергетической установки на стенде-прототипе. На это Александров отвечал: “На ледоколе три реактора, и в случае отказа одного из них ледокол своим ходом может выйти из льдов. Конечно, риск есть, но ведь без риска и жениться нельзя” [9, с. 192].

Атомное ледоколостроение с Анатолием Петровичем во главе двигалось дальше, но этот путь не был лёгким. Первенец — ледокол “Ленин” — за 30 лет прошёл более 650 тыс. миль и провёл во льдах около 4 тыс. судов. Половину своего срока эксплуатации он был единственным гражданским атомоходом в Северном Ледовитом океане. Однако к концу “вахты” первого гражданского судна с ядерным двигателем советский атомный флот располагал уже восемью ледоколами и одним грузовым атомным судном — лихтеровозом “Севморпуть”. В этом, несомненно, состоит огромная заслуга Александрова перед советским народом. Ему принадлежат слова, сказанные в дни расцвета наземной ядерной энергетике (1976): “Работы, связанные со строительством атомного флота, вот уже 40 лет являются главным делом в моей жизни и останутся таковыми до конца дней моих” [9, с. 411].

Александров и ядерная энергетика. В ноябре 1949 г., практически сразу же после первого испытания советской атомной бомбы, главный штаб атомного проекта страны Специальный комитет при Совете министров СССР выдаёт пору-

чение: “В целях изыскания возможностей использования атомной энергии в мирных целях (возможности разработки проектов силовых установок и двигателей с применением атомной энергии)... рассмотреть вопрос о возможных направлениях работ в этой области и свои соображения в месячный срок доложить Специальному комитету” [10, с. 9].

Список учёных, которым это было поручено, естественно, возглавил И.В. Курчатов — лидер атомного проекта, следом за ним А.П. Александров — научный руководитель почти всех имевшихся тогда в стране реакторов. После этого понадобилось около пяти лет, чтобы построить первую в мире атомную электростанцию. Анатолий Петрович писал: «Тогда многие энергетики смеялись над “игрушкой физиков”, даже многие участники атомных разработок считали, что это бесперспективно. Однако Игорь твёрдо верил в будущее атомной энергетики» [9, с. 37].

В 1956 г. на историческом XX съезде КПСС И.В. Курчатов выступил с исключительно смелой программой создания в стране полномасштабной ядерной энергетике. А в это время в отделе ядерных реакторов А.П. Александрова уже вовсю шла разработка проектов ядерных реакторов для электростанций. Первые предложения по водо-водяному реактору для АЭС (на базе развернувшихся работ по атомной подводной лодке) появились в 1954 г. Курчатов и Александров, когда у них была такая возможность, шли плечом к плечу в деле создания советской ядерной энергетике. Так, конечно, было и в тяжёлый период, который спра-



И.В. Курчатов и А.П. Александров с дочкой

ведливо назвать “последним боем Курчатова”. Они вели его вместе.

В начале 1959 г. председатель Госплана СССР предложил практически свести на нет и без того скромную программу, в которой оставалось не более половины продекларированного XX съездом. Госплан хотел сократить количество строящихся реакторов с двух до одного, перенести сроки, а потом и совсем свернуть строительство Нововоронежской АЭС. Всё это было неслучайным в условиях острой нехватки ресурсов, что отлично понимали в Правительстве. Фактически это означало отложенный конец всей рождающейся ядерной энергетики страны. Были задействованы все аргументы, способные доказать ошибочность предлагаемого решения. Интересно, что наиболее важные письма Курчатов и Александров подписывали вдвоём — видимо, эта тактика была эффективной. Таким оказалось и самое результативное, как потом выяснилось, обращение к А.Н. Косыгину. Приведём выдержку из главного и последнего (июнь 1959 г.) совместного обращения: “Необходимо рассматривать Воронежскую АЭС как опытно-промышленную установку, открывающую дорогу крупному направлению атомной энергетики — водо-водяным реакторам. В этом направлении мы имеем уже опыт... Мы считаем, что это направление атомной энергетики должно иметь большое будущее... Учитывая всё изложенное, мы настаиваем на продолжении начатого строительства Воронежской станции” [11, с. 28]. Категорический вывод в письме к Косыгину о том, что строительство Нововоронежской станции и изготовление оборудования для неё зашли

настолько далеко, что прекращение строительства было бы технически и экономически нецелесообразно, вероятно, сыграл решающую роль в победе. Итог мы знаем, и это стало прощальным подарком Курчатова будущим поколениям атомщиков.

Первый блок Нововоронежской АЭС с реактором ВВЭР-210 (кстати, самым мощным на тот момент энергетическим реактором в мире) был запущен под руководством Анатолия Петровича в 1964 г., уже без Игоря Васильевича. В дальнейшем именно Александров смог поднять мирный атом до уровня неотъемлемой части энергетического потенциала страны. Сегодня энергию производит уже шестой блок Нововоронежской АЭС с реактором ВВЭР-1200. Благодаря тому, что в конце 1950-х годов удалось продолжить работы по корпусным водоохлаждаемым реакторам, это направление и сегодня выступает лицом российской ядерной энергетики.

Следует добавить, что в период подготовки к пуску первого блока Нововоронежской АЭС (1964) А.П. Александров озабочился тем, чтобы внедрить на станции опыт, полученный при создании и освоении атомных подводных лодок и ледоколов. Жёсткие рамки секретности исключали доступ специалистов гражданской энергетики к важным знаниям корабельного направления. Часто единственным каналом передачи соответствующих сведений были рекомендации Анатолия Петровича. Однако опытом эксплуатации установок подводных лодок воспользоваться всё же удалось: при подготовке первой группы научных руководителей энергопуска первого блока

Нововоронежской АЭС четыре “гражданских атомщика” Курчатовского института прошли полную подготовку на рабочем месте старшего инженера-оператора реактора на наземном прототипе подводной лодки.

Разумеется, знания и опыт, накопленные при эксплуатации промышленных реакторов-наработчиков оружейного плутония, научным руководителем которых, как отмечалось выше, стал Александров, были взяты на вооружение при становлении отечественной ядерной энергетики. На этом базировалась и разработка реактора АМ для первой АЭС. Тогда же рассматривались направления двухцелевых реакторов, которые могли бы сочетать выработку электроэнергии и накопление плутония. Первый такой реактор, ЭИ-2, создан в 1954–1958 гг.

Развитие принципиальных конструктивных решений, внедрённых на Обнинской АЭС, в итоге ограничилось двумя реакторами (не считая небольшой опытной атомной теплоцентрали на Чукотке — Билибинской АЭС). Это были два блока типа АМБ Белоярской АЭС мощностью 100 и 200 МВт. Блоки проработали с 1963 по 1983 г. и с 1967 по 1990 г. соответственно.

Создание бескорпусных канальных водо-графитовых реакторов пошло по несколько иному пути. А.П. Александров стоял у истоков нового реакторного направления, начало которому было положено уже после смерти И.В. Курчатова. Его концепция была предложена в ИАЭ до 1965 г. профессором С.М. Фейнбергом при участии Анатолия Петровича. В СССР в то время имелся уникальный опыт создания и эксплуатации канальных промышленных уран-графитовых, а также транспортных и первых энергетических корпусных водо-водяных реакторов. Однако не хватало мощностей для массового производства предельно крупных транспортабельных корпусов и парогенераторов ВВЭР.

В Институте атомной энергии им. И.В. Курчатова совместно с Научно-исследовательским и конструкторским институтом энерготехники была выработана первая концепция энергетического канального водо-графитового реактора с учётом отечественного и мирового опыта, позволявшая, в частности, радикально расширить производственную базу ядерной энергетики благодаря отказу от уникальных корпусов реакторов и тяжёлых парогенераторов. Разумеется, для принимавших тогда решения лиц очень важна была возможность (впрочем, впоследствии не реализованная) двухцелевого режима таких реакторов с наработкой оружейного плутония. В результате в Постановлении Совета Министров СССР 1966 г. о масштабных планах строительства АЭС до 1975 г. было уже включено серийное производство реакторов РБМК даже без предварительного создания реактора-прототипа. Первый блок



А.П. Александров с министром среднего машиностроения Е.П. Славским, конец 1970-х годов

РБМК-1000 на Ленинградской АЭС вошёл в строй в 1973 г., а к 1978 г. было введено уже шесть блоков РБМК. Такая спешка повлекла за собой проектные ошибки, не все из которых удалось устранить модернизацией уже строящихся и эксплуатируемых АЭС. После успешного освоения головных блоков на Нововоронежской и Белоярской АЭС появилась реальная база для первого амбициозного плана — ввода в действие атомных станций мощностью около 12 млн кВт в период 1966–1975 гг. Научное руководство работами по водо-водяным реакторам ВВЭР и водо-графитовым реакторам возложили на Курчатовский институт, а министр среднего машиностроения Е.П. Славский назначил А.П. Александрова научным руководителем.

Здесь уместно привести описание стиля научного руководства Анатолия Петровича, данное выдающимся учёным в области ядерной энергетики В.А. Сидоренко: «Если Игорь Васильевич Курчатov в повседневной работе над проектами промышленных ядерно-энергетических установок уже не участвовал (что вовсе не исключало его постоянное внимание к работе, влияние на принципиальные научно-технические решения и самое решительное вмешательство в реализацию, развитие и признание ядерной энергетики и создание её головных объектов), то Анатолий Петрович Александров укреплял авторитет научного

руководства детальным и постоянным участием в решении всех проблем создаваемых конструкций. Его эрудиции хватало на всё, это был “Инженер” с большой буквы, создававший вокруг себя научно-инженерную школу высокого уровня и высокой ответственности. Характерным в его стиле “руководства” было то, что Анатолий Петрович мог одобрить результат работы, лишь лично проследив каждую линию на чертеже и каждый вывод в обосновании решения. От этого стиля работы ему трудно было отойти даже в условиях резко увеличивающегося объёма работ, увеличения количества разрабатываемых объектов. Он понимал необходимость, но с трудом воспринимал реальность создания “системы”, обеспечивающей столь же ответственное внимание к качеству результата разработки. Такая система создавалась жизнью, но, к сожалению, это его беспокойство за эффективность “системы” в последующем во многом оправдывалось» [12, с. 8].

Общее руководство ядерной энергетикой от научных разработок до строительства и эксплуатации (борьба за передачу станций в другое ведомство была ещё впереди) тогда осуществляло Министерство среднего машиностроения (так было переименовано Главное управление времён атомного проекта в 1953 г.). Под руководством министра Средмаша Е.П. Славского удалось создать ядерный и термоядерный арсенал, обеспечивавший паритет с США. Усилиями отрасли были развиты основные направления ядерной науки и технологии и разнообразные области использования атомной энергии: исследовательские установки, военный и гражданский флот, ядерная энергетика и многое другое. На развитие всех этих направлений огромное влияние оказал академик Александров.

В конце 1970-х годов в Советском Союзе готовилась новая программа развития ядерной энергетик. Она была принята в 1980 г. и предусматривала ввод в 1981–1990 гг. 67 млн кВт атомных мощностей, а также ставила задачу к 1993 г. довести мощности АЭС до 100 млн кВт. С ориентиром на этот огромный уровень ядерной энергетик начались работы по развитию предприятий ядерного топливного цикла и атомного энергомашиностроения. Программа предусматривала обеспечение всего прироста производства электроэнергии в европейской части страны за счёт ядерных энергоисточников. Тогда было реализовано около 29 ГВт ядерных мощностей (менее половины запланированных к 1993 г.), заметная часть которых “ушла” в другие страны. Этому предшествовала работа по формированию общей стратегии развития ядерной энергетик, определению её технических направлений и способов обеспечения топливом. Александрову как авторитетному носителю этой идеологии было доверено представить ядерно-энергетическую стратегию мировому сообществу в Генеральном адресе

(программном докладе) VII Мировому энергетическому конгрессу, впервые состоявшемуся в Москве [13].

Авторитет А.П. Александрова как научного руководителя ядерной энергетик страны проявился и в создании Межведомственного технического совета по атомным электростанциям, учреждённого постановлением Совета министров СССР в 1971 г. Анатолий Петрович был утверждён его председателем. Совет имел право принимать решения, исполнение которых было обязательным для всех министерств и предприятий. В его состав вошли первые руководители ведущих министерств и организаций, связанных с ядерной энергетикой: 5 министров (и председателей госкомитетов) СССР, 10 академиков и членов-корреспондентов АН СССР, 19 руководителей НИИ, КБ и проектных организаций. До осени 1986 г. совет рассматривал и решал важнейшие вопросы технической политики в области ядерной энергетик как в стране, так и в международном сотрудничестве, и это стало периодом расцвета атомной отрасли.

Здесь необходимо подчеркнуть ещё одну принципиально важную особенность “периода Александрова” в развитии мирного атома – бурное рождение и развитие новых идей, результатами которых мы пользуемся по сей день. Вот лишь несколько примеров новых направлений ядерной техники, энергично развивавшихся под руководством А.П. Александрова в институте в период застоя (не сумевших, впрочем, прорваться в атомную отрасль). Одним из настойчиво продвигаемых направлений 1970–1990-х годов стали высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы. Закрытые работы по газографитовым реакторам для ядерных ракетных двигателей в США и СССР начались ещё в 1950-х годах. Задание на экспериментальный реактор, получивший название ИВГ-1, было утверждено Александровым в 1965 г. Этот уникальный аппарат был запущен в 1972 г. на Семипалатинском полигоне с рекордной температурой выбрасываемого водорода 3000 К.

Разумеется, Анатолий Петрович прекрасно понимал состояние оборонной части проблемы, продвигая и мирное использование высокотемпературных реакторов для придания нового качества ядерной технологии – внедрения её в энергоёмкие отрасли промышленности: расширенное применение ядерного водорода, реализация высокоэффективных циклов когенерации тепла и электроэнергии и др. 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. Эта перспектива в нашей стране (в отличие от Китая) до сих пор находится пока в листе ожидания.

Другое, к сожалению, основательно забытое всеми (опять-таки кроме Китая) направление, доведённое до практического сооружения головной станции, — одноцелевые атомные станции теплоснабжения. Идея атомного теплоснабжения базировалась на вполне понятных основаниях. В нашей северной стране на производство горячей воды и пара (так называемого низкотемпературного тепла) расходуется в полтора раза больше топлива, чем на производство электроэнергии. К тому же Россия — одна из немногих стран, где существует развитое централизованное теплоснабжение городов. Общая концепция специализированного источника теплоснабжения АСТ, позволяющего экономить органическое топливо при значительном снижении выбросов продуктов сгорания в районах сосредоточения людей, разработана в 1975–1978 гг. Первопроходцем здесь, как и во многих других новых технологиях, стал Курчатовский институт. Новые подходы к обеспечению безопасности атомных станций позволили разработать одноцелевую атомную станцию для низкопотенциального теплоснабжения.

Строительство двухблочной Горьковской АСТ началось в январе 1982 г. (второго блока — с 1983 г.) в нескольких километрах к востоку от городской черты Горького (ныне — Нижний Новгород) и было официально остановлено в декабре 1993 г., когда первый блок был практически готов к эксплуатации. Возведение Воронежской АСТ, также двухблочной, началось в 1983 и 1985 г. (первый и второй блоки соответственно) и было прекращено летом 1990 г. Причиной тому стала, без сомнения, волна антиядерных настроений в стране после аварии на Чернобыльской АЭС, активно подогреваемая политической конъюнктурой.

В наши дни близится к возрождению ещё одно направление тех лет — водородная энергетика, для которой в институте утвердилось название “атомно-водородная энергетика”. Александров очень много сделал для его развития. Основными проектами стали ядерно-металлургический комплекс на Кольском полуострове с восстановлением руды водородом и, несколько позднее, плазменная переработка сероводородсодержащих газов. Можно упомянуть ещё об одном интереснейшем проекте — авианосце “Икебана”, производящем водород для заправки самолётов. Надо сказать, что Анатолий Петрович готовил широкий прорыв атомно-водородной энергетике на флоте. Но во все эти проекты вмешалась перестройка с последующим развалом СССР.

Трагедия Чернобыля для человека, всю жизнь отдавшего ядерной энергетике, стала страшной бедой: “Чернобыль — трагедия и моей жизни тоже. Я ощущаю это каждую секунду. Когда катастрофа произошла, и я узнал, что там натворили, чуть на тот свет не отправился. Потом решил немедленно уйти с поста президента Академии наук, даже обратился по этому поводу к М.С. Горба-

чёву. Коллеги останавливали меня, но я считал, что так надо. Мой долг, считал я, все силы положить на усовершенствование реактора. Отвечать за развитие атомной энергетики и конкретно за Чернобыльскую катастрофу — разные вещи. Судите сами. Хотя, впрочем, убеждён, что сказанное вызовет новый поток брани на мою старую, лысую голову. Но я покривил бы душой, если бы согласился с мнением, что теперь атомную энергетику развивать не надо, и все АЭС следует закрыть. Отказ человечества от развития атомной энергетики был бы для него губителен” [1, с. 243, 244].

А.П. Александров не только переживал трагедию Чернобыля, но и немедленно включился в тяжёлую и непрерывную работу. С первого дня катастрофы в Курчатовском институте организовали антикризисный штаб, прямо в кабинете директора. В него вошли практически все ведущие специалисты института. Именно здесь под внешне спокойным и так хорошо знакомым всем курчатовцам бесконечно требовательным аналитическим взглядом Анатолия Петровича непрерывно “переваривалась” вся, сначала очень скудная, информация “с фронта”, и находились решения, немедленно приводившиеся в жизнь. В этом штабе бывали и руководители отрасли Е.П. Славский, Л.Д. Рябев и многие другие. Нет нужды говорить, что был мобилизован 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. Начиная с мая 1986 г. академик, которому было уже 83 года, неоднократно прилетал в Чернобыль, чтобы лично проконтролировать работы. Для людей, занятых устранением последствий аварии, каждая встреча с ним, отчёт о сделанном, обсуждение задач превращались в серьёзную проверку на прочность, выдержав которую, можно было быть уверенным в успехе задуманного.

Постепенно утихли страсти. Отшумели споры о причинах Чернобыльской аварии. Специалисты практически договорились о технических деталях произошедшего, особенно когда время нивелировало фактор “чистоты мундира” отдельных участников и организаций. Как это типично для больших аварий, всё свелось к наложению человеческого фактора на недостатки техники, каковые, по своей сути, — тот же фактор в виде “отложенного штрафа”, результат ошибок или недостатка знаний у людей, когда-то спроектировавших эту технику.

Стоит добавить, что Чернобыль (как до него авария на АЭС Три-Майл-Айленд в США в 1979 г.) подтвердил известную истину, что тяжёлые аварии могли бы быть предотвращены достаточно простыми техническими решениями, если только знать, где подстелить соломки. Такие пер-

воочередные меры, в поиске которых Анатолий Петрович принимал активное участие и реализованные на всех АЭС с реакторами РБМК, практически за год физически устранили возможность повторения чернобыльского сценария.

Обратимся к ещё одному уже упоминавшемуся обстоятельству, часто остающемуся 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 г., к 1981 г. их было уже пять. Столь быстрое внедрение вскрыло проектные ошибки, последовал ряд довольно серьёзных инцидентов в 1970-х годах и, наконец, в 1986 г. У РБМК всё-таки другие физические характеристики, и именно они определили катастрофический разгон. Вот здесь проявилось мужество А.П. Александрова как человека и учёного. Он, по словам Н.А. Черноплёкова, “стал выше личных обид, которые только и могла породить развязанная в СМИ травля, а обратил внимание и организовал работу по совершенствованию реакторов РБМК, стремясь защитить их от возможной безответственности и халатности персонала. А самое главное — он делал всё от него зависящее для ликвидации последствий чернобыльской аварии. Когда в обществе занимались преимущественно похоронами ядерной энергетики, он мужественно и обоснованно выступил в её защиту” [14, с. 164]. Анатолий Петрович говорил: “Меня очень тревожит гонение на атомную энергетику, которое началось в стране. Не может целая отрасль науки и промышленности быть подвергнута остракизму. В этом отношении есть отрицательный опыт с генетикой и кибернетикой. Я по-прежнему убеждён в необходимости развития для страны атомной энергетики. Убеждён, что при правильном подходе к ней, при соблюдении всех правил эксплуатации она безопаснее, экономически надёжнее тепловых станций, загрязняющих атмосферу, гидроэлектростанций, уродующих реки” [1, с. 245].

Александров и сегодняшний день российского атома. Современный атомный военно-морской флот — надёжный гарант безопасности Российской Федерации. Вся страна знает о регулярно спускаемых на воду многоцелевых подводных лодках и стратегических атомных подводных лодках (в 2022 г. прошёл испытания уже шестой корабль этого класса — ракетный крейсер стратегического назначения “Генералиссимус Суворов”). Люди, которые профессионально этим занимаются, прекрасно помнят об актуальных по сей день идеях и всём, что было создано за полвека “отцом” данного направления. Один из главнокомандующих ВМФ, адмирал В.И. Куроедов, назвал Анатолия Петровича Александрова “первым, кто прорвал занавес, отделяющий большую науку от флота”.

Как он подметил: “Стиль взаимодействия Анатолия Петровича с флотом... является образцом сотрудничества учёного с флотом и для сегодняшнего поколения” [15, с. 25].

Многое из того, что сегодня относят к новым направлениям, берёт своё начало со времён Александра и его соратников. Понятно, что происходящее на флоте далеко не всегда предназначено для открытого опубликования. При необходимости разрешение даёт Верховный главнокомандующий, но связь времён на флоте очевидна. Рассмотрим, насколько связан современный день мирного атома с основами, заложенными Анатолием Петровичем. Если мы откроем его Генеральный адрес из далёкого 1968 г., то в числе “нескольких соревнующихся технических концепций использования энергии деления” первыми обозначены “хорошо зарекомендовавшие себя корпусные реакторы с лёгкой водой, особенно развивающиеся в США и Советском Союзе” [13].

Мы, конечно, понимаем, что их родина — Курчатовский институт, а внедрением первого промышленного образца руководил А.П. Александров. Сегодня эти реакторы, изначально спроектированные для атомных подводных лодок и надводного флота, обеспечивают 85% мирового ядерного электричества. Исключительно успешный опыт мирового использования реакторов с водой под давлением сделал эту технологию ведущей в развитии мирного атома на всей планете, хотя когда зачитывался Генеральный адрес академика Александрова, это было далеко не так очевидно. И нет никаких оснований ожидать смены тенденции превалирования корпусных водяных реакторов в ядерной энергетике России и мира.

Что же касается “развёртывания энергетики с реакторами-размножителями на быстрых нейтронах, использующих большую часть урана-238... практически неисчерпаемых энергоресурсов ядерного горючего” [16, с. 38], если сравнить Генеральный адрес Александрова и современную “Стратегию развития ядерной энергетики”, легко убедиться, что ядерные специалисты шли по одному пути на протяжении всех этих десятилетий. Просто Анатолий Петрович, как и все творцы, ожидал от дела своей жизни немного большей скорости развития, чем это почти всегда происходит в реальности.

Место, которое сегодня занимают быстрые реакторы в реальной энергетике, а также в исследованиях и разработках, отражает сроки прогнозируемой потребности в них, определяемые прежде всего необходимостью вовлечения урана-238 в ядерный топливный цикл. Согласно последним данным, имеется достаточно урановых ресурсов для поддержки долгосрочного и устойчивого использования ядерной энергии. Современная оценка соотношения спроса и предложения на уран снова отодвинула на середину века поиск

новых источников топливообеспечения. Перенос востребованности вторичного ядерного топлива ещё на несколько десятилетий вперёд явно не стимулирует интенсивное развитие “быстрого” направления, сколько бы доводов о его преимуществах ни приводилось.

Широкое внедрение реакторов на быстрых нейтронах и замыкания на их основе ядерного топливного цикла в существующих российских стратегических планах отнесено на 2030-е годы, что может оцениваться как традиционный максимализм при нынешних, весьма умеренных представлениях о росте потребности в ядерной генерации. Россия, единственная в мире имеющая в составе ядерного парка коммерческие реакторы на быстрых нейтронах, явно лидирует по темпам развития этой технологии.

Не может не восхищать совпадение принципиальной позиции Александрова, пронизывающей весь его Генеральный адрес и многие другие работы (о необходимости и неизбежности внедрения ядерной энергии в новые области энергопотребления), с возрождением этой идеи в наши дни. В последнее время развернулись буквально взрывные дебаты о предстоящем выходе мирного атома за пределы электрогенерации (теплоснабжение, опреснение, производство водорода и др.) при нынешнем практически пренебрежительно малом вкладе атомной энергии в неэлектрическое производство — порядка 1%. Это, пожалуй, наиболее значимая отличительная черта современного этапа ядерно-энергетического прогресса — возрождение тенденции, ослабленной трудным временем мирного атома после тяжёлых аварий, но не забытой, его стремления к распространению в новые области энергопотребления. Огромный вклад академика А.П. Александрова в этот процесс никто не осмелится отрицать.

Конечно, неумолимо рождаются новые идеи в области атомных технологий — гигантская теплотворная способность ядерного топлива всегда будет стимулом для творческой мысли. Надо только обязательно проверять, как относились академик Александров и его команда к рождённой, казалось бы, сегодня новой идее, обсуждение которой почти всегда найдётся в анналах его родного института.

Завершить эту статью хочется заветом Анатолия Петровича: “Мне в жизни повезло — я жил в необычайно интересное, хотя и очень трудное время, мне приходилось участвовать в работах крупного значения и взаимодействовать с многими удивительными людьми... Работа моя была очень разнообразна, но всегда увлекала меня полностью... Жизнь всегда должна наполняться интересной, напряжённой работой, тогда она будет счастьем” [17, с. 277].

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров П.А. Академик Анатолий Петрович Александров. Прямая речь. М.: Наука, 2002.
2. Курчатовцы и атомный флот // Серия “Исследования и разработки Курчатовского института в интересах национальной безопасности” / Гл. ред. М.В. Ковальчук, сост. А.Ю. Гагаринский, Е.Б. Яцишина. М.: НИЦ “Курчатовский институт”, 2017.
3. Курчатовские реакторы // Серия “Исследования и разработки Курчатовского института в интересах национальной безопасности” / Гл. ред. М.В. Ковальчук, сост. А.Ю. Гагаринский, Е.Б. Яцишина. М.: НИЦ “Курчатовский институт”, 2017.
4. Папковский Б.П. Курчатовский институт и отечественная судовая атомная энергетика // Серия “Исследования и разработки Курчатовского института в интересах национальной безопасности” / Гл. ред. М.В. Ковальчук. М.: НИЦ “Курчатовский институт”, 2015.
5. Бурлаков Е.В., Калугин А.К. Научный руководитель промышленных реакторов // А.П. Александров. Документы и воспоминания. М.: ИздАТ, 2013. С. 151–157.
6. Хлопкин Н.С. Проблемы создания морской атомной энергетике // Роль российской науки в создании отечественного подводного флота. М.: Наука, 2008.
7. Пологих Б.Г., Хлопкин Н.С. Создание первой атомной энергетической установки для ледокола // Николай Сидорович Хлопкин. М.: НИЦ “Курчатовский институт”, 2016.
8. Игорь Васильевич Курчатов в воспоминаниях и документах. М.: ИздАТ, 2004.
9. Александров А.П. Документы и воспоминания. К 100-летию со дня рождения / Отв. ред. акад. Н.С. Хлопкин. М.: ИздАТ, 2003.
10. Александров А.П. Собрание научных трудов. В 5 т. Т. 3. Атомный флот. М.: Наука, 2006.
11. Александров А.П. Собрание научных трудов. В 5 т. Т. 4. Атомная энергетика. М.: Наука, 2015.
12. Сидоренко В.А. Водо-водяные энергетические реакторы. Начало и результат. М.: НТЦ ЯРБ, 2018.
13. Александров А.П. Генеральный адрес участникам VII конгресса Мировой энергетической конференции // Атомная энергия. 1968. № 5. С. 356–362.
14. Черноплёков Н.А. Из тех, кто определил лицо эпохи // Вестник РАН. 2003. № 2. С. 148–169.
15. Усыкин А.К. Военное кораблестроение и атомная энергия. Записки и размышления / Под ред. вице-адмирала Р.Д. Филоновича. М.: РНЦ “Курчатовский институт”, 1996.
16. И.В. Курчатов и А.П. Александров о стратегии ядерного энергетического развития / Отв. ред. А.Ю. Гагаринский. М.: НИЦ “Курчатовский институт”, 2013.
17. Физики о себе / Отв. ред. В.Я. Френкель. Л.: Наука, 1990.