

**ТВОРЦЫ
ЯДЕРНОГО
ВЕКА**



Н.С.ХЛОПКИН





**ТВОРЦЫ
ЯДЕРНОГО
ВЕКА**

Н.С. ХЛОПКИН

*Страницы
жизни*

Москва
ИздАТ
2003

УДК 621.039
ББК 6П28 (09 Хлопкин)
Х 58

Х 58 Хлопкин Н.С.
Страницы жизни. — М.: ИздАТ, 2003. — с. 192, илл. —
(Творцы ядерного века)

ISBN 5-86656-148-4

Книга представляет собой сборник очерков, связанных общей темой — становлением и развитием морской атомной энергетики в которую автор внес весьма весомый вклад.

УДК 621.039

ISBN 5-86656-148-4

© Хлопкин Н.С., 2003
© Оформление ИздАТ, 2003



**9 АВГУСТА 2003 ГОДА ИСПОЛНИЛОСЬ 80 ЛЕТ АКАДЕМИКУ РАН
ГЕРОЮ СОЦИАЛИСТИЧЕСКОГО ТРУДА
ЛАУРЕАТУ ЛЕНИНСКОЙ И ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРЕМИЙ
НИКОЛАЮ СИДОРОВИЧУ ХЛОПКИНУ.
ПРЕДЛАГАЕМЫЙ СБОРНИК СОДЕРЖИТ БИОГРАФИЧЕСКИЙ
ОЧЕРК, А ТАКЖЕ ИЗБРАННЫЕ ДОКЛАДЫ, ОТРАЖАЮЩИЕ
ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ МОРСКИХ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
УСТАНОВОК, В РАЗРАБОТКЕ КОТОРЫХ Н.С. ХЛОПКИН
ПРИНИМАЛ УЧАСТИЕ**

БИОГРАФИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

I. Детство, школьные и студенческие годы

Родился я 9 августа 1923 года в глухой деревне Ильинки Петушинского района Владимирской области. До сих пор вокруг деревни на речках бобры строят свои плотины. До районного центра Петушки — 13 км, из них 10 км сплошным лесом, который сейчас нещадно вырубается.

Отец мой, Хлопкин Сидор Акимович, родился здесь же в 1900 году. Он 25 лет работал на льно-прядильно-ткацкой фабрике «Труд», где дослужился до должности главного бухгалтера фабрики. В 1942 году был призван в армию, воевал санинструктором на Воронежском фронте, где погиб 11 июля 1942 года и похоронен в братской могиле (400 человек).

Отец был образованным человеком, хотя окончил лишь реальное училище. Дома он собрал большую библиотеку. Библиотека содержала 3 энциклопедии (большую, малую и медицинскую), собрания сочинений Л.Толстого, М.Горького и др. Даже был Плутарх. Увлекался графологией, чему и я немного научился.

Второе увлечение отца была пасека, которая давала 2-3 кадушки меда в год, что было очень хорошим подспорьем для семьи.

Мама моя работала ткачихой на этой же фабрике «Труд», а когда народились один за другим четверо детей стала жить в деревне, работая рядовой колхозницей.

Семья наша была большая — вместе с бабушкой — 7 человек. Воспитание было трудовое — на нас — трех братьев и сестре лежал весь огород, а на мне — и работы на пасеке, где пришлось научиться не бросать рамку с медом, даже если пчелы жалили в самые больные места.

Начальную школу окончил в Ильинках. Далее учился в других поселках: средняя школа (5-7 классы) в Липне, на расстоянии 7 км

от родной деревни, 8-9 классы — в Костереве (12 км от деревни), 10 класс — в Петушках (13 км от деревни). Ясно, что ежедневно домой из школы возвращаться было невозможно. Нанималась квартира, но не в том поселке, где учился, а на расстоянии 3 км от него. Отец справедливо полагал, что школьника невозможно заставить заниматься утренней зарядкой, а так — хочешь или не хочешь, а совершал ежедневную прогулку — 6 км, а в выходные дни и побольше.

В понедельник надо было выходить из дома в 6 утра, чтобы успеть на занятия. Осенью — грязь, зимой — занесенные дороги, возле которых можно видеть волчьи следы, а иногда слышать и волчий вой.

Образование в школах было поставлено хорошо, в частности требовалось решить задачи подряд во всех задачниках. Это прививало практические навыки. Работали кружки. Особенно я любил авиамодельный и морской (в последнем изучалась морская азбука).

Среднюю школу окончил с похвальной грамотой, что облегчило поступление в 1940 году в Московский энергетический институт, на теплоэнергетический факультет. Когда заканчивал первый курс, началась Великая Отечественная война. 1 июля 1941 года в составе комсомольского отряда МЭИ я был направлен на строительство оборонительных укреплений на Днепре. Строили деревоземляные огневые точки, проволочные заграждения, противотанковые рвы. В начале октября 1941 года начались постоянные обстрелы с немецких самолетов. Вскоре западный фронт был прорван. Нас начали выводить на Вязму, откуда на одном из последних поездов 10 октября 1941 года и прибыли в Москву.

Институт готовился к эвакуации. Состояние Москвы было очень тревожным: 16 октября было объявлено, чтобы каждый как мог добирался до Горького. Студентов МЭИ там собралось довольно много, но поскольку в Горьком организовать обучение было невозможно, направили нас на баржах в Самару, а затем в трех вагонах в Алма-Ату. В Алма-Ате мы попали в другой мир. Хлеб, водка, мороженое и другие продукты без ограничений. Но через несколько дней, когда в Алма-Ате скопилось много студентов различных вузов, произошла очередная переадресовка — в Лениногорск Восточно-Казахстанской области. Здесь уже началась организация Института и учебного процесса в нем.

Учеба была своеобразной. Лекции читались в утренние часы. После лекций мы шли спать, чтобы вечером идти работать в шахту, где добывался свинец. Работа в шахте давала возможность сносно питаться в шахтной столовой утром и вечером.

II. Война

Но пробыл я в Лениногорске недолго. В феврале 1942 года был призван в армию и направлен в Тамбовское военно-пехотное училище, размещенное в г. Семипалатинске. определен в пулеметный взвод. За мной был закреплен станковый пулемет «Максим». И с его отдельными частями (станок 29 кг, ствол 24 кг) в дополнение к штатному снаряжению (рюкзак, шинель, винтовка с боеприпасами, граната) первый и второй номера совершали марш-броски по пескам Казахстана, иногда падая от усталости. Окончил училище за 6 месяцев. Присвоили звание лейтенант, и в августе 1942 года был направлен на Воронежский фронт. Мне был вверен стрелковый взвод, в состав которого входили жители из среднеазиатских республик. Солдаты были еще не обстрелянные. В середине сентября я вел взвод в наступление в районе пригородов Воронежа — Подгорное и Подклетное при поддержке трех танков, которые до этого в момент передышки были отремонтированы на ничейной полосе.

Как только танки двинулись, по ним ударила немецкая артиллерия. Танки были подбиты. По пехоте же немецкая артиллерия ударила шрапнелью. Это был первый и последний испытанный мной обстрел шрапнелью во время всей войны. Спрятаться нельзя ни в ложбинке ни в окопчике — бьет сверху. Довольно эффективное психологическое воздействие, но почему-то впоследствии ни немцы, ни мы шрапнель не применяли.

Наступление захлебнулось. Взвод оказался рассеянным на значительной площади. И только ужин в темноте помог собрать взвод. К счастью, потери были невелики — ранен один солдат.

Затем нас отвели севернее. Здесь на западном берегу Дона, после некоторой передышки, вновь пошли в наступление при поддержке десятка танков. Немцы ожидали этого наступления, и как только танки прошли цепи пехоты, ударили по рядам из пушек, минометов и пулеметов. Танки были подбиты, пехота залегла под столь плотным огнем. Я был тяжело ранен в ногу. Как выяснилось позднее, это произошло в 12 км от того места, где два с половиной месяца назад был убит и похоронен мой отец.

После излечения в течение 14 месяцев в госпиталях Тамбова, Соль-Илецка, Москвы я вновь был направлен на фронт, но так как раненая нога плохо сгибалась, и я не мог бегать, меня назначили ПНШ-6 — шестым помощником начальника штаба 1035 стрелкового полка по шифровально-штабной службе. Дали коня с ординарцем. С этим конем я прошел оставшуюся часть войны —

от Шепетовки Житомирской области до Виттенберга за Эльбой в Германии. Поэтому и сейчас затрудняюсь определить, кто я был на фронте — пеший или конный. Без коня бы мне не выдержать маршей в наступлении, иногда достигавших 70 км в сутки.

С 1035 СП 289 сд я участвовал в боях под Шепетовкой, Станиславом, Бродами, Львовом, на Сандомирском плацдарме (между Вислой и Сапом в Польше). Затем — Одер, Бреслау, Берлинское направление. Был повышен в звании и должности — стал первым ПНШ (помощником начальника штаба стрелкового полка по боевым операциям).

Интересный случай произошел при продвижении к Одру. Наша полковая колонна лунной ночью успешно продвигалась на запад, вышла на поле. И вдруг над ней появился самолет. Чей? Наш? Немецкий? В мои обязанности входила связь с авиацией. Ясно, что самолет колонну обнаружил. Раздумывать было некогда. Я дал сигнал: «Здесь свои войска», тремя красными ракетами, как и следовало давать в таких случаях.

Но немецкими, т.к. своих ракет у нас не было. Это ввело в заблуждение немецкий самолет, осуществлявший связь с немецкими колоннами, резво отступавшими на запад. Он снизился, сел на поле. Наши автоматчики быстро окружили его. В самолете было много карт с нанесенным на них расположением немецких частей.

Меня наградили орденом Красной Звезды. Так что и нужда иногда бывает полезной.

Последний бой был под Берлином, когда с востока из района котбусских лесов двинулась ранее окруженная группировка на прорыв к Берлину. 13 дивизий, хотя и деморализованных долгим ожиданием штурма, представляли тем не менее грозную силу. Брошенные из-под Берлина, хорошо оснащенные три наших дивизии во встречном бою расчленили эти силы, довольно часто сами попадая в окружение. Боеприпасов было достаточно, и сколько полегло немцев в этом бою — трудно сказать, считать было некогда. В середине дня 1-го мая немцы начали сдаваться, убедившись в бесполезности сопротивления. Пленных было столько, что с большим трудом удалось организовать их охрану.

Расписался на Рейхстаге, правда на довольно большой высоте — ниже все было заполнено росписями.

Далее нас направили на юго-запад. Из-за неразберихи Эльбу мы форсировали без боев и вышли на 30 км западнее ее, на р.Мульде, на разграничительную линию с американскими войсками.

Здесь я встретил День Победы.

После этого еще две недели происходили стычки с несостоявшимися немецкими партизанами, которых подвела излишняя немецкая пунктуальность и чрезмерная организованность. Командный состав имел знаки различия в виде косынок на шее, особых значков на пиджаках и был снабжен картами с обозначениями баз и складов оружия. Это позволило в очень короткие сроки покончить с партизанским движением.

В конце июня открылась рана, и я был направлен на лечение в Москву.

III. Учеба в МЭИ

Госпиталь оказался рядом с Московским энергетическим институтом. Я долго думал, что делать дальше. Лечение могло оказаться очень длительным — так и оказалось. В общей сложности я перенес 15 операций под общим наркозом. На студенческих харчах да при интенсивной нагрузке вылечиться трудно. Но ребята — студенты МЭИ меня уговорили — поможем, а сейчас надо попробовать. И больше месяца утром я ковылял на костылях на лекции, а после этого шел обедать и ночевать в госпиталь (благо он был расположен на Госпитальной площади, на расстоянии около 1 км от института). В конце октября по состоянию здоровья был демобилизован, а затем и вовсе снят с воинского учета.

В институте пополнил состав фронтовиков группы. Всем нам дополнительно к карточкам давали талоны УДП — усиленное дополнительное питание. Острыки в шутку называли — умрешь днем позже, тем не менее это была серьезная продовольственная поддержка. Да за ордена в то время приплачивали. Помогал и бартер — полученные по карточкам килограмм селедки и бутылка водки шли за мешок картошки.

Ввиду отсутствия документов нас опять зачислили на первый курс, но разрешили ходить на лекции второго курса. После успешной сдачи экзаменов за третий семестр, нас перевели на второй курс. Мы стосковались по учебе, действительно не жалели своих сил.

Моя учеба в Институте была необычной. Сил едва хватало вытянуть семестр, надо было досрочно сдавать экзамены, так как вновь открывались раны. Обычно в госпитале находился месяц-полтора, и новый семестр приходилось начинать здесь. Мне приносила в госпиталь учебники и лекции Анна Васильевна Андрунина, староста группы, которая впоследствии стала моей женой.

Теоретические дисциплины успевал освоить, труднее было с лабораторными занятиями. Обычно я выполнял лабораторные работы, когда нормальные студенты с ними уже управились. Ходил сюда на костылях.

После женитьбы мне и Анне Васильевне в общежитии выделили отдельную комнату площадью 8м². Родился сын, завели двухэтажные койки. Учиться стало труднее, но мы не сдавались. В воспитании сына помогла моя мама, которая взяла практически все заботы после выхода сына из грудного возраста.

В 1947 году меня перевели на вновь организованный физико-энергетический факультет (факультет №9 МЭИ). Кого из нас стали готовить, разобрались не сразу. Налаженные учебные курсы МЭИ, изобилующие домашними заданиями и лабораторными работами давали навыки инженерной работы. Но часть лекций читали выдающиеся ученые — С.М.Фейнберг, А.Д.Сахаров, М.А.Малков, А.И.Ахнезер, В.А.Фабрикант. Сопровождались эти лекции семинарами в институте Физпроблем, директором которого был А.П.Александров. Прививались навыки к научной работе, вырабатывался научный подход к изученным явлениям.

IV. Начало работы в Институте

Несмотря на столь интенсивное обучение студентам факультета в дополнение к выходным был предоставлен сначала один день, а затем и два дня, свободных от посещения лекций. В эти дни мы старались практиковаться главным образом в Лаборатории № 2, директором которой был И.В.Курчатов. С июля 1949 года я был официально зачислен лаборантом в штат этой Лаборатории.

Было поручено исследование теплопередачи в каналах промышленных реакторов. Дипломный проект выполнял здесь же. Последние две недели перед защитой проекта мы не выходили за пределы лаборатории, ночуя в подвале, завернувшись в тулуп. Темой моей дипломной работы была АЭС, которую я заглубил под уровень земли, а на крыше посадил кусты. Это была отрыжка войны. Такими я видел немецкие подземные заводы. Председатель ГЭК А.П.Александров идею не поддержал. Он сказал, что нужно учитывать и экономику, но 5 все-таки поставил.

Мне был вручен диплом с отличием по специальности теплофизика.

После окончания МЭИ в июне 1950 года я был переведен на должность инженера, продолжая работать по тематике промышленных

реакторов. Мы проверяли различные технологии изготовления блоков промышленных реакторов. Наши исследования позволили отобрать те из них, которые обеспечивали надежное сцепление оболочки и сердечника, предотвращая локальные перегревы последнего.

Неразрушающий контроль сцепления и оболочки производился на двух установках, различающихся принципом действия. Результаты были обобщены в 1956 году в диссертации на соискание степени кандидата технических наук «О сцеплении между сердечником и оболочкой ТВЭЛа и методике исследования его».

Но уже с 1952 года меня привлекли к рассмотрению вопросов теплогидравлики различных вариантов активных зон морских реакторов, в частности кризиса теплообмена при высоких давлениях.

V. Атомные ледоколы

С 1953 года основной моей работой стало определение облика ядерной энергетической установки для ледокола. И.В.Курчатов и А.П.Александров считали, что те огромные средства, вложенные в атомную промышленность и идущие на создание ЯЭУ для подводных лодок должны так же быть использованы в народном хозяйстве и приносить пользу. При рассмотрении различных типов судов были выделены те, которые длительное время работают в отрыве от портов и на больших мощностях. Наиболее нуждались в атомной энергии ледоколы и китобазы. От строительства китобаз вскоре все-таки отказались, вовремя сообразив, что атмосферные осадки могут содержать продукты деления от атмосферных ядерных взрывов и загрязнить мясо и жир кита, разделяваемого на палубе. Конечно, это будет приписано воздействию ядерной энергетической установки. А выбор ледоколов был сделан правильно — Арктике действительно очень нужны были атомные ледоколы. Справедливости ради надо отметить, что и для утверждения атомной энергетики на судах нужна была Арктика, так как здесь наиболее наглядно могли быть выявлены преимущества ЯЭУ. Последующие разработки и за рубежом подтвердили удачность такого выбора. Научным руководителем ЯЭУ и ледокола в целом был назначен А.П.Александров. Решено было создать ЯЭУ без наземного стенда-прототипа. В секторе 6 в 1953 году была создана специальная группа, главной задачей которой было, используя достижения в реакторных установках для ВМФ, учесть специфику гражданского судна — необходимость более высокой экономичности, большего энергозапаса активных зон, более высокого ресурса оборудования.

Руководителем группы был назначен я. Она входила в выделившийся из сектора 6 сектор 20 (начальник Г.А.Гладков). В нем были сосредоточены все работы по морским ЯЭУ. Группа, в которую входили Б.Г.Пологих, А.Е.Савушкин, Г.Н.Полетаев, Е.Ф.Ефимов, И.М.Мордвинов совместно с конструкторами реакторной установки завода № 92 Нижнего Новгорода и конструкторами ледокола ЦКБ-15 г.Санкт-Петербурга формировала техническое задание на реакторную установку, производила физические и теплогидравлические расчеты реактора, определяла биологическую защиту установки, решала вопросы ядерной и радиационной безопасности, что позволяло осуществлять эффективное научное руководство работами. Группа координировала работы по установке и в других подразделениях института. По мере развития работ в КБ завода № 92 группа все больше сосредотачивалась на решении вопросов физики активной зоны и ядерной и радиационной безопасности. Научным руководителем реактора был И.В.Курчатов. Энергозапас зоны был назначен для того времени довольно большой, что требовало загрузки в реактор нескольких критмасс топлива. Органы компенсации избыточной реактивности должны иметь эффективность более $15 \beta_{эф}$, что приводило к недопустимым искажениям энерговыделения в реакторе. Кроме того, органы компенсации имели массу более полутонны, что требовало мощных приводов для их перемещения.

Выход из положения был найден А.П.Александровым, предложившим запас избыточной реактивности компенсировать выгорающими поглотителями, они с этих пор неизменно используются в морских да и в стационарных реакторах. Величина кампании 5000 эффективных часов в то время была выдающейся.

В начале 1958 года были проведены эксперименты на критстенде по исследованиям физических характеристик зоны. Требуемая величина загрузки оказалась всем на удивление ниже расчетной (ранее никогда этого не было).

Топливо было загружено в реакторы ледокола в июне-июле 1959 года.

В августе 1959 года ледокол посетил вице-президент США Никсон и вице-адмирал Риквер, руководитель программы создания атомного флота США. Целью было определить не может ли «Саванна», уже к тому времени спущенная на воду, опередить в сдаче в эксплуатацию атомный ледокол. Надежда у них была, работы на «Саванне» после этого посещения были форсированы, но несмотря на это она отстала более чем на два года в сдаче флоту.

В августе 1959 года был произведен физический пуск реакторов, в начале сентября были закончены комплексные швартовные испытания, в октябре-ноябре ходовые испытания ледокола. При общем руководстве А.П.Александрова практические вопросы на месте решал я, не уходя с завода несколько месяцев.

Результаты проектирования и строительства атомного ледокола были доложены А.П.Александровым в Женеве на II Международной конференции Объединенных наций по мирному использованию атомной энергии.

Доклад вызвал очень большой интерес. В это время отмечалась эйфория относительно возможностей судовой атомной энергетики. Атомные суда проектировались во многих странах, но наша страна начала их строить первой.

Ледокол был сдан в опытную эксплуатацию в 1959 году. За работы по атомному ледоколу мне в 1960 году была присуждена Ленинская премия.

В связи с успешным завершением работ по ледоколу я в 1960 году был переведен на должность старшего научного сотрудника, а в 1962 году назначен заведующим лабораторией.

Работы по реакторной установке а/л «Ленин» были обобщены в докторской диссертации «Создание и опыт эксплуатации ледокольной паропроизводительной установки», которую я защитил в 1968 году.

VI. Работы по ядерным энергетическим установкам для военно-морского и морского флотов

В апреле 1962 года я был назначен заместителем А.П.Александрова по морским ядерным энергетическим установкам.

Навалилась масса дополнительных забот по реакторным установкам для подводных лодок, которые в это время строились ускоренными темпами.

Коснусь лишь двух серьезных проблем. Прежде всего — организация работ по повышению ресурса парогенераторов. Их трубные поверхности из нержавеющей стали теряли герметичность через несколько тысяч часов работы, хотя на наземном стенде-прототипе в Обнинске парогенераторы работали нормально. Я обратил внимание А.П.Александрова на то, что в литературе появились данные о склонности нержавеющей стали к коррозионному растрескиванию под напряжением в присутствии ионов хлора и что подобные условия

существуют в наших парогенераторах. Были приняты меры по совершенствованию водно-химических режимов, но проверка их в условиях ледоколов показала, что всё равно трудно достичь ресурса 12-15 тыс. час., что недостаточно. Были срочно изготовлены трубные поверхности парогенераторов из различных материалов, и приняты решения об ускоренной эксплуатации новых парогенераторов на подводных лодках. Результаты этих работ позволили снять проблему работоспособности трубных систем парогенераторов.

Одновременно была решена задача сведения к минимуму положительного выбега реактивности при разогреве активных зон. В новых активных зонах он не превышал долей при рабочих температурах. Конечно температурный коэффициент реактивности всегда был отрицательный, что упрощало управление реактором.

По требованию заказчика энергозапас активных зон второго поколения был увеличен почти в два раза по сравнению с эксплуатируемыми. Существенно усложнилась физика реакторов, так как вынуждены были перейти на новую элементную базу и применить комбинацию выгорающих поглотителей. Были разработаны новые программы расчета, адекватность которых была подтверждена экспериментами на критстендах и сопоставлением расчетных и замеренных на объектах изменений физических характеристик. Руководил расчетными работами Г.А.Гладков, а экспериментами Н.А.Лазуков.

Сложнее оказалось дело с работоспособностью активных зон. Она была подтверждена петлевыми испытаниями. Но вскоре было обнаружено увеличение повреждаемости оболочек с повышением жесткости спектра нейтронов. На объектах спектр был существенно жестче, и тепловыделяющие элементы теряли свою герметичность гораздо раньше, чем в петлевых испытаниях. Введение ингибиторов коррозии в теплоноситель эффекта не дало. Расширение работ по активным зонам потребовало создания физической лаборатории (заведующий Г.Е.Романцов).

Ввиду возникновения ряда нерасчетных режимов при эксплуатации ядерных энергетических установок пришлось создать и инженерную лабораторию — для выдачи рекомендаций флоту в этих условиях.

Эти две лаборатории, а также лаборатория нестационарных процессов вошли в состав сектора № 67, начальником которого я был назначен в 1966 году.

Одновременно усовершенствованы методы контроля состояния активных зон в процессе эксплуатации и пополнены приборным парком радиохимические лаборатории баз.

На атомных ледоколах был внедрен непрерывный приборный контроль состояния активных зон по гамма-активности теплоносителя и по концентрации в нем запаздывающих нейтронов.

Для контроля изменения физических характеристик активных зон на объектах во время эксплуатации были организованы физические лаборатории на военно-морских базах, а на ледоколах введена должность главного физика.

Особое место во втором поколении занимает ядерная энергетическая установка В-5, разработанная НИКИЭТ для подводной лодки проекта 661. Мощность ее реакторов была почти в два раза выше, чем остальных. Пришлось применить кассетную структуру активной зоны, чтобы разместить в ней больше топлива. Это привело к необычно большому температурному эффекту реактивности, и чтобы его уменьшить был применен бериллиевый отражатель. Подводная лодка проекта 661 имела до сих пор непревзойденную скорость — 44,7 узла, но в серию не пошла из-за большой шумности.

В 1962-1968 годах Минатомом (Б.П.Папковский) были разработаны нормативные документы, регламентирующие разработку, изготовление, испытания морских ЯЭУ и оборудования для них. В дальнейшем разработка нормативной документации по ядерной и нормативной безопасности Минатомом была поручена Курчатовскому институту, как головной организации. Учитывая специфику установок и разную административную принадлежность, были разработаны правила ядерной безопасности (ПБЯ) отдельно для подводных лодок и ледоколов.

К этому времени были сформированы нами — головной организацией Минатома нормы водно-химических режимов I и III контуров. Удалось добиться самоподдерживающихся водно-химических режимов. Благодаря этому работа установок с отключенными фильтрами перешла в разряд нормальной. Раньше отключение фильтров не допускалось. Такой режим считался аварийным.

Ядерные энергетические установки III поколения для подводных лодок начали разрабатываться ОКБМ в 1963 году. Удалось найти решения, позволившие в габаритах установок II поколения поднять мощность реакторов в два раза, существенно повысить ресурс оборудования, надежность, ядерную и радиационную безопасность.

На основе этих решений годом позже началось проектирование и ледокольных ЯЭУ второго поколения, которое вскоре пришлось форсировать. Ресурс первой установки а/л «Ленин» был исчерпан, и было решено ее не ремонтировать, а заменить целиком на новую.

Это удалось сделать довольно быстро. И в 1970 году а/л «Ленин» вышел в навигацию с новой установкой.

Наземный стенд-прототип установки III поколения для подводных лодок вошел в строй в 1975 году, а первая подводная с подобной установкой была сдана в 1980 году.

Курчатовский институт внедрил в этих установках импульсную пусковую аппаратуру, на 3-4 порядка более чувствительную ранее используемой, что существенно расширило диапазон контроля реакторов.

Я принимал участие в комплексных швартовных испытаниях головных кораблей. Комплексная бригада Курчатовского института вела детальные исследования характеристик установок с помощью специально созданной регистрирующей аппаратуры, что позволило создать банк данных по динамике и статике установок.

Но и здесь в основном я занимался активными зонами. Повышение энергонапряженности активных зон, их энергозапаса в два и более раз, вновь потребовало создания новой элементной базы тепловыделяющих элементов и проведения тщательной отработки. Было испытано более 15 типов и разновидностей активных зон. Петлевые испытания сборок, испытания в работе на ледоколах по прямому назначению, испытания на стенде-прототипе имели свои особенности и по спектру нейтронов и по режима эксплуатации, что потребовало создания методики пересчета ресурсных характеристик активных зон.

С конца 1969 года ОКБМ начало проектировать ядерную энергетическую установку для тяжелого ракетного крейсера. Первый крейсер вошел в строй в 1980 году, практически одновременно с первыми подводными лодками III поколения. Реакторная установка не имела наземного стенда-прототипа.

Самую высокую мощность среди морских реакторов, самые высокие энергозапасы активных зон, более высокие требования по работоспособности, ресурсу и срокам оборудования удалось обеспечить на основе решений по установкам для подводных лодок III поколения и на основе опыта эксплуатации ледокольных установок II поколения.

Мой вклад в эти разработки был отмечен присуждением Государственной премии.

После ухода в 1987 году А.П.Александрова с поста директора в Институте атомной энергии им.И.В.Курчатова на меня было возложено руководство морскими ядерными энергетическими установками военного и гражданского назначения.

Атомный флот страны продолжал развиваться. Была разработана и согласована всеми ведомствами новая судостроительная программа, но тут грянула перестройка.

VII. Работы в период перестройки

В связи с резким сокращением строительства атомных кораблей и судов остро встал вопрос о продлении сроков эксплуатации имеющихся.

У атомных ледоколов возможности продления ресурса и сроков эксплуатации были продемонстрированы «Арктикой», у которой при назначенном ресурсе 100 тыс. часов реакторные установки проработали 143 тыс. часов, причем последний год они работали непрерывно.

Такой опережающей эксплуатации в военно-морском флоте не удалось осуществить из-за сложности с ремонтом и недостаточным финансированием. Тем не менее, было ясно, что и здесь резервы есть, и можно сохранить по крайней мере ядро флота.

Были разработаны соответствующие программы по анализу состояния установок, видам необходимого ремонта оборудования, но эти программы выполняются медленно из-за скудости выделяемых средств.

Сложнее дело с приведением установок в соответствие с современной нормативной документацией по ядерной и радиационной безопасности. Здесь надо вторгаться в проект, где взаимодействие всех механизмов было увязано. Переделки могут иметь и нежелательные последствия. Поэтому приходится ограничиваться иногда разработкой мер, которые компенсируют несоответствие. Взаимодействие главного конструктора реакторной установки и научного руководства, осуществляемого Курчатовским институтом, приобретает очень важное значение.

В связи с обвальным выводом из эксплуатации подводных лодок в последние годы все большее внимание в Институте уделялось выработке концепций по обращению с выведенными из эксплуатации подводными лодками, их реакторными отсеками и активными зонами.

Также накопилось довольно много вопросов связанных с переработкой жидких и твердых радиоактивных отходов, как ранее накопленных, так и вновь образующихся при утилизации и реабилитации загрязненных территорий. Часть их в настоящее время уже решена (обращение с жидкими радиоактивными отходами).

Продолжались экспедиционные исследования состояния радиационной обстановки, концентраций радионуклидов в морской воде и грунта в районах затонувших подводных лодок «Комсомолец» и «Курск» и затопленных реакторных отсеках в бухтах новой Земли. Эти исследования показали, а 70 экспертов МАГАТЭ подтвердили, что экологические последствия наличия этих радиоактивных источников для окружающей среды оказались существенно ниже, чем предрекалось не только «зелеными», но и рядом институтов, как за рубежом, так и в нашей стране. Я руководил разработкой основных программ и обеспечением их аппаратурным оснащением.

Около 10 лет велись разработки обучающих и аналитических тренажеров операторов ядерных энергетических установок различных проектов. К настоящему времени они поставлены на Северный и Тихоокеанский флота, в учебные центры. Предполагается оснастить ими военные училища, морскую академию, судостроительные КБ.

Продолжались разработки концепций реакторных установок XXI века военного и гражданского назначения. В отличие от ранее разрабатываемых установок здесь особое внимание уделялось их сопротивляемости тяжелым авариям в аварийных условиях и улучшению экономических показателей.

Совершенствовались ядерная и радиационная безопасности ЯЭУ подводных лодок «Северодвинск» и «Юрий Долгорукий».

Научная школа Курчатовского института по морским ядерным энергетическим установкам, начало которой положили И.В.Курчатов и А.П.Александров более 50 лет назад, а затем выращенная А.П.Александровым, сохранилась и во времена перестройки, хотя и сильно уменьшившаяся по составу. Она продолжает находиться в числе ведущих школ страны. Проблема в малом количестве молодых кадров, которые неохотно идут на технические специальности. А ведь опыт надо кому-то перенять. Годы идут, ветераны уходят в запас.

VIII Зарубежные поездки

8.1 Англия, 17 мая — 17 июня 1960 г.

Делегация СССР под руководством члена коллегии ММФ А.А.Савельева принимала участие в пересмотре Международной Конвенции по охране человеческой жизни на море 1948 году. Конвенция содержит международные стандарты-правила и рекомендации, которых следует придерживаться при проектировании,

постройке и эксплуатации судов, чтобы обеспечить надлежащую безопасность человеческой жизни на море. Ю.В.Сивинцев и я были экспертами по атомным судам.

В новой редакции Конвенции атомные суда получили международный юридический статус. Были введены отдельной главой правила, обязательные к исполнению, и рекомендации по безопасности атомных судов.

Советской делегации удалось достичь ряда существенных успехов. Ни одно из подготовленных правил и рекомендаций не противоречит состоянию радиационной безопасности атомного ледокола. Ни одно из советских технических предложений не было отвергнуто.

Очень длительные дискуссии возникли по заходу атомных судов в иностранные порты. Было ясно, что значительно усложненный заход в порты атомных судов сильно скажется на их конкурентоспособности по сравнению с судами на органическом топливе.

В конечной редакции большинством делегаций было принято, что подход должен быть индивидуальным к каждому атомному судну, и заход его в иностранный порт должен осуществляться на основе двухсторонних соглашений между заинтересованными странами на основании заблаговременно представленной документации, дающей полное представление о безопасности атомного судна для порта.

Это требование вошло и в более поздние документы, в частности в Кодекс по безопасности атомных торговых судов, принятый в 1981 году взамен прилагаемых к Конвенции рекомендаций. В целом процедура захода в порты оказалась камнем преткновения для развитого гражданского флота.

8.2 Швейцария. Август 1958 года.

На Второй Международной конференции организации объединенных наций по применению атомной энергии в мирных целях присутствовала наша довольно большая делегация, возглавляемая Председателем Госкомитета по атомной энергии А.М.Петросьянцем. Нам было что показать — опыт эксплуатации первой в мире АЭС, введенную в действие Сибирскую АЭС и строящийся атомный ледокол.

Доклад об атомном ледоколе «Ленин» с фотографиями, иллюстрирующими высокую готовность судна, сделал А.П.Александров. Доклад был воспринят с очень большим интересом, так как в это

время имелись радужные надежды на бурное развитие мирного атомного флота.

Много внимания на конференции было уделено вопросам безопасности. Из обсуждавшихся вопросов необычными были два.

А.П.Александрова интересовало отношение зарубежных коллег к тому, что у нас в первых реакторах наиболее эффективный орган, компенсирующий значительную часть избыточной реактивности, был один. Мы не говорили, что в цепь управления этого органа был включен допотопный трехфазный рубильник, позволяющий наверняка обесточить в случае несанкционированного перемещения его. Но имелись еще три системы управления реактивностью, построенные на различных принципах функционирования — автоматические регуляторы, стержни аварийной защиты и жидкий поглотитель, ввод которого в активную зону с лихвой компенсировал всю избыточную реактивность.

Реакция зарубежных коллег была сдержанной — у них подобные системы не применялись. Во вновь проектируемых установках мы стали тоже применять не один, а расчлененные органы компенсации избыточной реактивности.

Второй вопрос, поставленный Люисом (представитель Канады) — надо ли в руках всегда оставлять средство воздействия на реактивность (не все поглотители вводить в активную зону по аварийному сигналу).

Четкой позиции по этому вопросу не было выработано. Во всех наших реакторах по сигналу АЗ опускаются в активную зону все стержни аварийной защиты, автоматические регуляторы и механические органы компенсации, чтобы надежно заглушить реактор. Но ввод жидкого поглотителя производится только в случае отказа наиболее эффективных компенсирующих реактивность органов. Ни разу в многолетней практике этого не потребовалось.

8.3. Швейцария, август 1964 года.

На III Международной конференции Организации Объединенных наций по применению атомной энергии в мирных целях я сделал доклад об опыте эксплуатации атомного ледокола «Ленин», с довольно откровенным изложением встреченных трудностей. Доклад вызвал большой интерес. Американцы не представляли материалов по «Саванне», хотя она была принята в состав флота в 1962 году. Летом 1964 года экипаж объявил забастовку, требуя повышения зарплаты. Ко времени проведения конференции забастовка была прекращена, «Саванна» прибывала в Гетеборг (Швеция).

На борт были приглашены главы делегаций. А.М.Петросьянц, возглавлявший нашу делегацию, пригласил меня, как консультанта по а\л «Ленин». При нас «Саванна» торжественно под звуки оркестра, в окружении пожарных катеров, фонтанирующих феерические струи воды по бортам, вошла в порт. Нас тепло принял главный механик судна. Интересно отметить, что на пульт управления реактором никто не был допущен. Вокруг реактора — контейнер, заполненный азотом во избежании пожара. Стало понятно, что и нам можно значительно сократить осмотры реакторного отсека ледокола. Очень много ковров, мы к этому времени их уже убрали и с ледокола, и с исследовательских реакторов как потенциальных накопителей радиоактивных загрязнений.

Главный механик «Саванны» отметил две проблемы и очень хотел бы посмотреть, как они решены на атомном ледоколе.

Органы регулирования реактора, играющие роль аварийной защиты, имели гидроприводы с маслом. Если возникала течь в них, масло попадало на горячую крышку реактора, что приводило к пожару. Отсюда — и азот внутри контейнера.

Вторая проблема — образования около одного кубометра в сутки низко активных жидких отходов вследствие утечки из плунжерных насосов, непрерывно подающих воду первого контура в разомкнутой системе очистки.

У нас на ледоколах этих проблем не было.

8.4. Индия, декабрь 1983.

Посетил в составе делегации, возглавляемой министром судостроительной промышленности И.С.Белюсовым.

Цель — расширения взаимодействия между двумя странами в области морских технологий.

Посетили Дели, Бомбей, Хайдарабад, Визакахпатиам, Тромбей и др. Нам старались показать большие возможности страны в области промышленности и развития научных исследований. Поразила очень хорошая оснащенность новейшей техникой научных лабораторий при царящей вокруг нищете, что свидетельствовало о способности страны концентрировать усилия в важнейших направлениях.

Можно было видеть, что индусы несколько переоценивают свои возможности, но желание работать с нами и перенять наш опыт было огромным.

Конечно, поразила древняя культура страны, часть которой нам удалось увидеть.

8.5. Финляндия, декабрь 1992.

Посетил по приглашению ядерного общества Финляндии в связи с пятидесятилетием со дня пуска первого реактора Ферми. Выступил с докладом «Ядерная энергия для северных морей». Вынужден был прочесть его на английском языке, хотя разговорным языком не владею. На вопрос — поняла ли аудитория хоть что-нибудь из доклада — ответили — Да.

Очень обстоятельный доклад был представлен R.Nureg из ФРГ «Ранние годы цепной реакции». В нём отмечалось что немецкие успехи во время войны были сильно преувеличены: ни один из реакторов не достиг критичности, хотя главные процессы, происходящие в нём были известны.

После докладов бала пресс конференция, подавляющая часть вопросов адресовалась мне. Интересовались экологическими последствиями затопления радио активных отходов вблизи Новой Земли и состоянием радиационной обстановки возле затонувшей подводной лодки «Комсомолец». Ответил подробно. Воды Баренцева и Карского морей гораздо чище по радиоактивным загрязнениям, чем воды Балтийского и тем более Северного морей.

Но главные вопросы были связаны с Сосновым Бором. Каково назначение расположенных там трёх военных реакторов, каковы программы их работы, каково состояние радиационной обстановки в Сосновом Бору. К тому времени уже были опубликованы самые общие сведения об этих реакторах и Научно-исследовательском технологическом институте. Я ограничился этими сведениями, что вызвало улыбки присутствующих лиц. Но настырности аудитория не проявила, все понимали ситуацию.

Затем я посетил исследовательский реактор и АЭС «Ловииза», где не пропустили продемонстрировать, как мне показалось, ни один недостаток проекта.

8.6. Япония, март 1993 г.

Японию я посетил по приглашению Атомфорума Японии.

Японцы для подтверждения своей передовой роли в судостроении решили построить исследовательское атомное судно «Муцу».

Во время первого выхода в море в 1974 году были обнаружены очень значительные локальные превышения уровней излучения в верхней части реактора. Судно было законсервировано на длительное время. В 1989 году оно кратковременно было введено в эксплуатацию и совершило три экспериментальных рейса для подтверждения проектных характеристик, затем было выведено из эксплуатации.

Я посетил «Муцу» после ремонта. Реакторная установка его в значительной мере воспроизводила установку американского судна «Саванна», но имела значительно меньшую мощность по сравнению с ледокольными реакторами второго поколения. По выражению главного механика «Муцу» это было небо и земля. Я надеялся на организацию сотрудничества с японцами в разработке ядерных энергетических установок, тем более они уже признали, что ледоколы более подходят по сравнению с другими судами для применения атомной энергетики и вели соответствующие разработки. Но они уже детально ознакомились с нашими ледокольными реакторами в 1990 году и решили пойти самостоятельным путем, тем более, что постройка нового атомного судна в их планы не входила.

Их новые разработки, содержащие идеи, значительно отличающиеся от существующей практики, не прошли инженерную апробацию. Из посещения «Муцу» полезного для себя я вынес немного, разве что контролируемый пуск реактора во всех условиях эксплуатации. Этот проект был более двадцатилетней давности.

8.7. Китай, октябрь 1993 года.

Я был приглашен прочесть несколько лекций по атомным ледоколам. В это время в китайской печати появился ряд публикаций о том, что русские не ценят свои ноу-хау, в частности, токамак продали им в 10 раз дешевле, чем он стоит. Поэтому мой курс лекций был четко ограничен — только о ледоколах. Список лекций был утвержден нашей и китайской стороной. Китайцы показали ряд стендов по морской тематике, исследовательский и импульсные реакторы, теплофикационный реактор 5 МВт.

Был ряд очень интересных поездок по стране — на Великую Китайскую стену, в древние храмы, по красивым горным ущельям. Вне очереди нас провели даже в мавзоль Мао Цзе Дуна.

Китайцы ставили целью договориться о двусторонних работах с Курчатовским институтом по морской тематике. На этот счет у меня была четкая инструкция Минатома — только на основе межгосударственных соглашений. И я эту инструкцию тщательно соблюдал. По-видимому по этой причине последующих приглашений мне не последовало.

8.8. Норвегия, 1993-1997 годы.

Посетил трижды.

Первые две поездки в Осло были по приглашению норвежского Института оборонных исследований, который хотел получить

объективную информацию о радиационных последствиях, связанных с затонувшей подводной лодкой «Комсомолец» в Баренцевом море и затопленными твердыми отходами, в том числе и реакторными отсеками вблизи Новой Земли. В наших докладах было показано, что эти последствия не могут быть чрезмерными, в частности выход радионуклидов из реакторного отсека «Комсомольца» не будет более 10 кБк в год ^{137}Cs . В последующих экспедициях был замерен фактический выход $\leq 0,1 \text{ кБк} / \text{год}^{137}\text{Cs}$. Фоновые радиоактивные загрязнения морской воды и грунта не изменились.

В бухтах Новой Земли вблизи затопленных отходов отмечались только очень локальные загрязнения грунта. В этой связи был любопытный эпизод. Показав фильм о результатах совместной российско-норвежской экспедиции к местам затопления отходов, норвежцы очень просили Ю.В.Сивинцева и меня указать, какие из отсеков содержат невыгруженное топливо. Но в экспедиции были ведь весьма тщательные измерения. Норвежцы ответили, что определить не смогли, даже подойдя вплотную к отсекам. А ведь сколько вокруг этого было спекуляций.

Последняя поездка была в Киркенес, где рассматривались вопросы утилизации отечественных подводных лодок.

Наши доклады определяли приоритетность работ по выгрузке топлива из выведенных из состава флота лодок и по обращению с отработавшим ядерным топливом. Такая приоритетность работ была и одобрена.

8.9. Бельгия, январь 1995.

Принял участие по приглашению фонда «Комсомолец». К этому времени уже пришлось отказаться от подъема затонувшей подводной лодки. Для уменьшения радиационных последствий было признано наиболее эффективным способом уменьшение протока морской воды вблизи источников радионуклидов, что сокращает их вынос в окружающую среду. Главные опасения вызывала коррозия двух ядерных торпед. Поэтому была осуществлена комплексная локализация радионуклидов в носовой части подводной лодки. На выходе из торпедных аппаратов были установлены титановые захлопки, а разрушенная казенная части торпед была заполнена емкостями с водой. На наружную разрушенную часть корпуса были одеты специальные пластыри из коррозионно-стойкого материала. Эти меры были признаны достаточными, а их эффективность была подтверждена последующими экспедициями (всего к «Комсомольцу» было организовано 6 экспедиций).

Х. Семья

Я женат — с 1948 года.

Жена, Анна Васильевна, окончила Московский энергетический институт, защитила диссертацию на степень кандидата наук и длительное время работала доцентом в московских вузах.

У нас трое детей — Анатолий (1948 г рождения), Михаил (1951 г рождения) и Татьяна (1959 г рождения), три внучки и два внука.

Сейчас дети имеют собственные семьи

Анатолий, окончивший МИФИ, работает ведущим инженером, женат, имеет дочь и сына.

Михаил, окончивший физфак МГУ, кандидат технических наук, работал старшим научным сотрудником. Умер в 2002 г. Осталось 2 дочери.

Татьяна, окончившая Московский медицинский институт, работает врачом-офтальмологом. Замужем, имеет сына.

XI. Отдых

Выросши среди лесов, богатых всевозможными грибами и ягодами, и речек, изобилующих рыбой и раками, я навсегда сохранил к ним свою привязанность.

Врачами мне была установлена норма — не менее 10 км пешком каждый день. В рабочие дни это не удавалось сделать, но все-таки проходить 6 км в день я ухитрялся. Остальное наверстывал в выходные и в отпуск.

Первые годы отпуск проводил в деревне, где у моей мамы воспитывались дети. Здесь с ними совершались набегии на грибные и ягодные места лесов и на омота и бобровые плотины близлежащих речек.

Потом начались походы с рюкзаком по живописным местам равнин и гор — Домбай, Карпаты, Фанские горы, Южный Урал.

Ощувив прелести байдарочных походов, мы совершали походы сначала по многочисленным рекам средней полосы России, а затем уже, зная где и как ловить хариуса и форель, устремились в Северную Карелию и на Кольский полуостров. Здесь было совершенно около десятка путешествий. Север буквально заморозил богатством рыбы, ягод, грибов, прелестью природы, неповторимыми красками зорь.

Три недели на байдарке практически полностью восстанавливают силы.

Поскольку отпуск длинный, то оставшиеся три недели старался провести в горах Кавказа, на горных лыжах. На высоте 2000 м и более за три недели в организме происходят серьезные изменения, появляется прилив сил, чувствуешь, что хорошо отдохнул.

В санаториях и домах отдыха бывал очень редко. Настоящего лечения здесь все равно нет, а нужную нагрузку на ноги подобрать трудно.

В заключении скажу, что мною прожита непростая жизнь.
Война.

Очень ответственная работа, которую в основном я пытался отразить в этом биографическом очерке.

Большая семья, требующая внимания, но всегда оказывающая решительную поддержку в любых жизненных обстоятельствах. Здесь особенно велика роль жены — Анны Васильевны, с которой прожил более 55 лет. В очерке семье уделено очень мало места, надеюсь рассказать о семье немного позднее.

Здоровье свое тоже требовало постоянной заботы.

Считаю для себя большим счастьем, что большая часть жизни была связана с Курчатовским институтом — более 54 лет. Главным моим делом были морские ядерные энергетические установки, все стадии их жизненного цикла — проектирование, постройка, ввод в действие, эксплуатация и снятие с эксплуатации. Это настолько интересная и широкая сфера деятельности, что у меня никогда не возникало даже мысли, что надо менять профессию и заняться чем-то другим.

Очень большое влияние на меня оказал И.В.Курчатов, с которым я был знаком и даже немного работал на ранней стадии своей деятельности. Но сформировал меня как научного сотрудника и человека, вывел в жизнь А.П.Александров. 25 лет я был его заместителем по морским ядерным энергетическим установкам. Я старался брать с него пример во всем. Это и отношение к порученному делу, стремление довести его до конца, и широкий охват явлений, не пренебрегая мелочами, и внимательное отношение к людям и демократизм.

Я благодарен коллективу, с которым мне приходилось работать и который в конце преобразовался в отделение транспортных реакторов. Он был достоин своей миссии — научного руководства морскими ядерными энергетическими установками, составившими

основу наших атомных флотов — крупнейшего в мире океанского военно-морского флота и уникального ледокольного флота. Он вынес все трудности и даже перестройку, когда он потерял две трети своего состава.

Очень помогла дружеская и творческая атмосфера, созданию которой очень много внимания уделял А.П.Александров, в многоотраслевой и многоплановой работе над морскими ядерными установками. Примером среди отраслей был Минатом, с его Советами, определяющими политику и направление деятельности на морских ЯЭУ.

В этих условиях надеюсь еще поработать. В 80 лет менять образ жизни рискованно.

ЛИЦОМ К ЛИЦУ*

Н. С. Хлопкин

Рассказать о Великой Отечественной войне в короткой заметке не берусь, да и невозможно это сделать. Коснусь лишь тех дней и событий, в которых принимал участие. Речь пойдет о первом периоде войны—времени суровых испытаний, когда страна вела тяжелейшие оборонительные бои, и о периоде победоносных наступательных операций наших армий, закончившихся взятием Берлина и выходом на Эльбу.

Война застала меня за сдачей экзаменов первого курса Московского энергетического института. А первого июля 1941 года я уже ехал в составе комсомольского отряда МЭИ на Днепр, под Смоленск, рыть противотанковые эскарпы, строить деревоземляные огневые точки, ставить проволочные заграждения.

В октябре 1941 года немцы прорвали нашу оборону на Вяземском направлении. Отряд уходил лесами, спасаясь от окружения, и с одним из последних эшелонов возвратился в Москву — в тяжелые октябрьские дни. Мы были потрясены беспощадной правдой войны, трудно совместимой с предвоенными понятиями.

Институт эвакуировался в г. Лениногорск Восточно-Казахстанской области. Здесь я был призван в армию в Тамбовское военно-пехотное училище, находящееся в Семипалатинске. Через шесть месяцев окончил его в звании лейтенанта и в августе 1942 года командиром пулеметного взвода был направлен на Воронежский фронт. В это время немцы рвались к Сталинграду, а наше командование, стремясь ослабить натиск врага, наносило в районе г. Воронежа имеющимися небольшими силами фланговые отвлекающие удары.

* «Советский физик» № 17(716), стр. 3-4, 1980 г.

В конце августа вечером в мое распоряжение прибыл стрелковый взвод необстрелянных солдат из среднеазиатских республик. А уже рано утром надо было идти с ним в наступление, чтобы отбить у немцев пригороды Воронежа — Подклетное и Подгорное. Техники было мало — автоматов во взводе только два: у меня и у помкомвзвода, у остальных — винтовки. Наступало несколько батальонов при поддержке десятка танков. Эти танки находились на ничейной полосе. Они были подбиты в предыдущих боях и ночами, с соблюдением максимальных предосторожностей, отремонтированы нашими танкистами. После небольшой артиллерийской подготовки началось продвижение, взрвали моторы оживших боевых машин. Но тотчас же заговорили неподавленные огневые точки немцев, и танки один за другим были вновь подбиты, а батальоны прижаты к земле шрапнелью. Это был единственный раз за всю войну, когда пришлось испытать действие шрапнели. Немецкая оборона оказалась крепкой, к обеду наше наступление полностью захлебнулось. Мы зацепились только за окраины Подгорного.

Через неделю полк занял оборону на правом берегу Дона. В конце сентября здесь была предпринята местная наступательная операция. И опять, ввиду недостаточных сил, она окончилась малым продвижением вперед и значительными потерями: немцы довольно близко подпустили нас к своим окопам, а затем ударили из всех видов оружия. Я был тяжело ранен.

В этих фланговых районах сталинградского клина враг создал довольно прочную оборону и для ее прорыва требовалось и большое количество техники, и крупные воинские соединения. Наших же сил хватало только на то, чтобы не дать немцам снять отсюда части для усиления сталинградской группировки—тоже, конечно, важно, но давалось дорогой ценой. Грозными, хотя и озаренными победой под Москвой, были эти дни. Я не испытывал горечи отступления, которую пришлось пережить полтора месяца назад моему отцу — санинструктору, когда здесь останавливали немцев. В оборонительных боях он был убит в 12 километрах от того места, где я получил ранение. Об этом узнал позднее, находясь в госпитале. После войны отыскал его могилу... В этой братской могиле были похоронены 400 человек.

На излечении в госпиталях Тамбова, Соль-Илецка, Москвы находился 14 месяцев. В декабре 1943 года признан ограниченно годным к воинской службе и направлен в район легендарной Шепетовки, куда успел переместиться фронт. Командиром взвода не назначили, так как не удовлетворял одному из условий: не мог бегать

— раненая нога плохо сгибалась. Назначили шестым помощником начальника штаба стрелкового полка — по шифровально-штабной службе. Из должностных обязанностей хорошо выполнял лишь одну — кодирование карт. По молодости лет сначала пытался ввести кодирование в телефонные разговоры с батальонами. Но скоро понял, что успеха здесь не будет. Где в бою, да еще в дождь или снег, командиру батальона пользоваться книжкой с кодами? Как писал А. Твардовский в «Василии Теркине»:

Ведь в бою — на то он бой —
Лишних слов не надо.
И вступают там в права
И бывают кстати,
Больше прочих те слова,
Что не для печати.

На новой должности несолидно быть в старом звании — повысили. Дали коня. Это было очень кстати — иногда марши в наступлении достигали 50-60 километров в сутки. Поскольку в седле до этого я никогда не бывал, то первую неделю после знакомства с конем ходил враскарячку, чем доставлял большое удовольствие всем моим друзьям. С этим конем я прошел оставшуюся часть войны. Поэтому даже сейчас затрудняюсь определить, кто я был на фронте: пеший или конный. Без коня бы мне не выдержать марши во время наступления, достигавшие во время подхода к Берлину и 70 км в сутки.

Впервые в должности помощника начальника штаба принял участие в наступательных боях из района Шепетовки. Конотопско-Коростеньская ордена Богдана Хмельницкого 289 дивизия, в один из стрелковых полков (1035), которой я был направлен, в труднейших условиях продвинулась примерно на 300 километров и вышла в район Станислава (теперь Ивано-Франковск). В это время в районе Проскурова и Каменец-Подольского была окружена большая группа немецких войск. Они хорошо помнили Сталинград, поэтому, невзирая на потери, все силы бросили на прорыв окружения. Ударили и изнутри кольца, и извне. Наша дивизия оказалась на направлении их прорыва. Она отражала удары с запада новых частей, подошедших на помощь попавшим в окружение. Нашему, сильно потрепанному в предыдущих боях, полку пришлось отойти. Стояла ужасная распутица, подвоз горючего и боеприпасов был очень сложен. Тылы отстали. Иногда по немецкой пехоте стреляли из пушек бронбойными снарядами — других не было. Трудно

было организовать и взаимодействие с другими частями — из-за этого один раз попали под огонь «катюш», и здесь мы поняли, почему немцы так их боятся. Кругом взрывы, всюду очаги голубого огня, горит и дымится земля и все, что на ней есть...

С большими потерями полку удалось прорваться к Днестру и там соединиться с другими частями. Нас вывели во второй эшелон для пополнения. Когда формировали подразделения, пришлось вести борьбу с украинскими националистами-бандеровцами. Они нападали на отдельных бойцов и офицеров.

Данные о расположении советских войск, их передвижениях довольно быстро передавались бандеровцами немцам. Наше командование решило использовать эти связи для обмана, введения противника в заблуждение. Мы стремились создать у немцев впечатление о подготовке наступления на нашем участке. И делали это очень искусно.

Удар же нанесли севернее в районе Тернополя на Львовском направлении. Наступление началось 14 июля. Через несколько дней в районе г. Броды была окружена большая группировка противника. Вслед за танковым прорывом мы стремились выйти на Вислу, обойдя Львов с севера и запада. Немцы, испугавшись окружения, без больших боев оставили город. Во Львове мы впервые увидели большое количество брошенных фаустпатронов — специального противотанкового оружия. Но не придали ему значения. Его конструкция не внушала доверия. Это была труба типа водопроводной диаметром около 50 миллиметров. Один конец ее — открытый, а в другом находилась мина кумулятивного действия, пороховой заряд располагался в середине трубы. При его воспламенении пороховые газы выталкивали мину, свободно выходя из заднего конца, чем исключалась отдача. Немцы фаустпатроны в бою не применяли, по-видимому, потому, что их прицельная дальность была невелика — 100-150 метров. Надо иметь большую отвагу, чтобы подпустить танк на такое расстояние. В ходе успешного наступления в направлении г. Сандомир на Висле выяснять возможности фаустпатрона времени не было. А надо бы...

Не встретив сильного сопротивления, полк продвинулся за Вислу километров на 20 и стал готовить оборонительные позиции. Здесь мы встретили крупные подразделения польских войск — «народовые силы збройны» — и попытались скоординировать с ними действия против немцев. Переговоры были непростыми, польское командование подчеркивало необходимость согласования своих шагов с эмигрантским правительством Миколайчика, находящегося

в Лондоне. Ночью без всякого предупреждения поляки исчезли в неизвестном направлении. А утром немцы подтянули силы и начали ожесточенные бои, имея целью ликвидировать столь неприятный для них сандомирский плацдарм. В воздухе появились немецкие двухфюзеляжные корректировщики — рамы, как их называли. На наши окопы пошли танки — здесь впервые в больших количествах были введены в бой «королевские тигры», самоходные пушки — «фердинанды», немецкие шестиствольные реактивные установки — «ванюши», недостойные этого названия, выпускающие снаряды с противным визгом. Реактивные снаряды накрывали одновременно большие площади, имеющие иногда длину 300-500 метров. В этих условиях практически невозможно поддерживать проводную связь — непрерывно рвался кабель. Но немцы сбросить в Вислу нас уже не могли. Очень хорошо действовали против танков и пехоты наши штурмовики ИЛ-2 и «катюши». Здесь я был свидетелем противоборства реактивных установок: на каждый удар немецких «ванюш» мы отвечали не менее сильным ударом «катюш». Истощив свои силы, немцы через неделю перешли к обороне. Противник хорошо представлял важность этого плацдарма для дальнейшего продвижения наших — он был на берлинском направлении. Враг построил глубокоэшелонированную оборону. Авиаразведка каждый день приносила данные о новых немецких инженерных сооружениях — артиллерийских и минометных позициях, линиях окопов. Но нам ничего не оставалось делать, как готовиться против такой совершенной обороны. Противник знал, что наступать будем здесь, но не знал когда.

Тщательная подготовка началась еще осенью. В тылу, за Вислой, наши войска проводили учения с боевыми стрельбами. В начале зимы здесь было сосредоточено огромное количество техники для прорыва обороны немцев на широком фронте.

Наступление началось 12 января 1945 года — раньше намеченного срока, чтобы помочь союзным войскам, оказавшимся в тяжелом положении в Арденнах. К этому времени я уже стал первым помощником начальника штаба стрелкового полка по боевым операциям — ПНШ-1.

Перед прорывом была проведена разведка боем. Она началась сильной артиллерийской подготовкой по первой и второй линиям обороны. Штурмовые батальоны быстро захватили первую траншею и остановились. Подошли танки, но на прорыв они не пошли, а начали ходить в непросматриваемых противником районах вдоль переднего края обороны. Приняв бой штурмовых батальонов, шум



Хлопкин Сидор Акимович



Хлопкина Наталья Илларионовна



Деревня Ильинки и дом, где родился



Дома с Анной
Васильевной



Семья



Хлопкины:
Алексей
Сидорович,
Николай
Сидорович,
Елена
Сидоровна,
Константин
Сидорович



ПНПШ-1 — первый пом.нач.
штаба



Роспись на
рейхстаге



Первые после войны дни
учебы в МЭИ



Группа Б-3 ФЭФ МЭИ во главе с деканом И.И.Новиковым (1950 г.)



Прошло 52 года



Дни рождения обычно отмечаются в деревне



Анна Васильевна среди 4-х героев,
Ю.С.Кучиев, А.К.Следзюк, Б.М.Соколов



**Академики А.А.Саркисов и В.И.Кiryухин с нами
(275 лет Академии Наук)**



А.П.Александров в кругу семьи Хлопкиных (1983 г.)



В кабинете



Последние напутствия



Мне — 60



Митинг. Столетие со дня рождения А.П.Александрова



День Физика



Конференция. Столетие со дня рождения А.П.Александрова



Вручение золотой медали имени А.П.Александрова



На демонстрации

С сыновьями в
Крыму



В поход

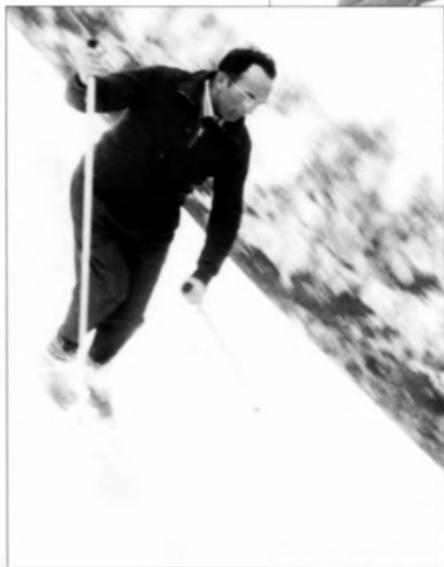


На озере Селигер



В походе без женщин

Домбай. Возле
пика Ина



На Кавказе



Со сморчками



Встреча на дороге из Феодосии в Новый Свет
(И.С.Белоусов, адмирал П.Г.Котов, вице-адмирал С.Е.Турунов)



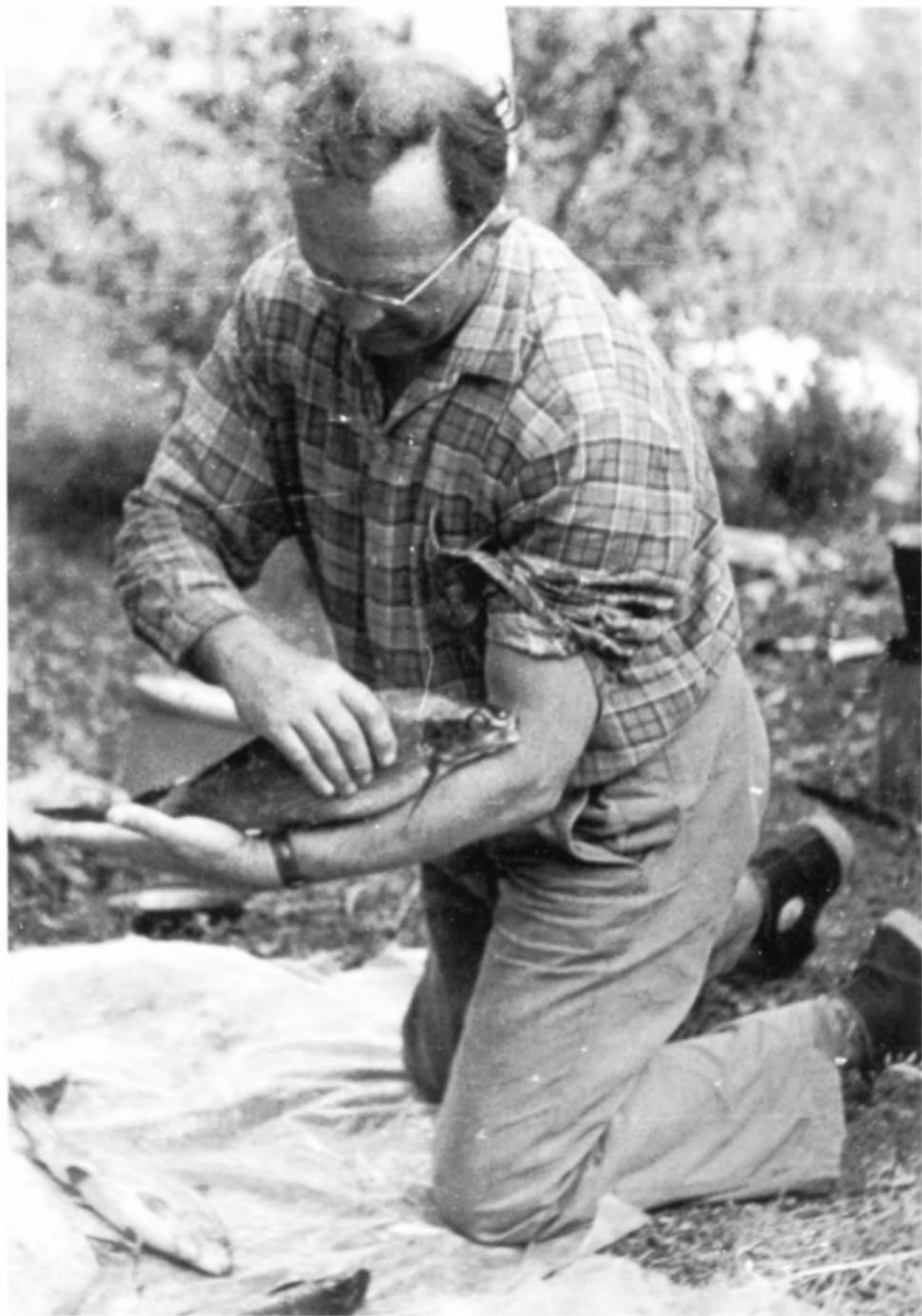
По Белой (Южный Урал)



За полярным кругом



На Кольском полуострове



Рыболов





В Подмоскoвьe



Лыжник, 1960 г.



Должно быть задокументировано



Почти 80

моторов танков и лязг их гусениц за начало наступления, немцы вышли из укрытий на огневые позиции, стали подтягивать резервы, которые и без того находились довольно близко к передовой.

В это время была произведена вторая, еще более мощная артиллерийская подготовка по всей глубине обороны. Близкое нахождение немецких резервов дорого обошлось им. Наша артиллерия поработала на славу. И хотя авиационная поддержка была затруднена пасмурной погодой, нам удалось в первый день продвинуться примерно на 15 километров. В прорыв тотчас же были введены крупные танковые соединения, которые, обходя узлы сопротивления, стали расчленять оборону противника, сея ужас и панику в его тылах.

Удар был настолько силен, что немцы не могли удержаться даже в старой своей пограничной полосе, тщательно и длительно подготавливаемой для обороны. Скорость продвижения советских войск была велика. Наступил долгожданный день: в конце января мы вошли в логово зверя — на территорию Германии. Теперь немцы на своей шкуре испытали, что несет с собой война. Разрозненные колонны врага спешно отходили на вторую, сильно укрепленную линию обороны вдоль р.Одер. Гитлером был издан приказ об эвакуации всего населения из восточной части Германии, так что здесь в большинстве случаев мы вступали в пустые поселки и города.

Связь и управление немецкими войсками были потеряны: немцы принимали судорожные меры для их восстановления. Однажды лунной ночью над колонной полка появился самолет. Чей — неизвестно. Но он явно обнаружил нас и начал снижаться. Связь с авиацией была возложена на меня. Немного поколебавшись, я дал серию ракет немецкого производства, соответствующую нашему сигналу: «Здесь свои войска». Самолет развернулся и сел на поле рядом с колонной. К нему срочно направился взвод автоматчиков. Немецкий самолет осуществлял связь. Его экипаж был захвачен в плен. Карты с последними данными о движении и расположении войск противника облегчили командованию и войскам последующие боевые действия. А мне за один удачный выстрел из ракетницы дали орден Красной Звезды.

Немцам не удалось удержаться и на Одере, хотя оборонительная полоса была очень мощной. Нам повезло: участок обороны держали фольксштурмовцы, прошедшие минимальную подготовку и не имевшие опыта боевых действий. Они не выдержали удара артиллерии. Одер был форсирован западнее Бреслау. На подступах мы впервые увидели боевое применение фаустпатронов. Против

танков они оказались очень эффективными. В населенном пункте у нас на глазах ударами фаустпатронов из подвалов зданий немцы вывели из строя пять танков, пробив броню.

В начале февраля мы вышли на берег Нейсе и заняли оборону на территории огромного порохового завода. Здесь находилось и стрельбище, на котором весь личный состав, от рядового до командира полка включительно, провел стрельбы из фаустпатрона, выполнив зачетные упражнения. С этих пор мы приняли его «на вооружение», в своем обозе имели большой запас, который пригодился под Берлином.

Завершающее наступление на запад началось 16 апреля 1945 года. Тринадцатая армия, куда входил наш полк, наступала южнее Берлина. Прорвав оборону на Нейсе, войска подошли к г. Шпремберг, форсировав р. Шпрее.

Это было время, когда союзники, пользуясь тем, что немцы стали оказывать им лишь небольшое сопротивление, развернули «скачки» к Берлину, пытаясь войти в него раньше советских войск.

В связи с задержкой наступления 1-го Белорусского фронта на Зеловских высотах и успешным развитием наступления на юге 1-го Украинского фронта последний был также перенацелен на Берлин. Поэтому после форсирования Шпрее перед нами была поставлена задача наступления на Берлин. Вели бои в этом направлении в очень трудных условиях. От действий артиллерии кругом горели леса. До Берлина мы не дошли 30 километров, поступил приказ подготовить оборону в районе городов Луккенвальде и Йютербург с фронтом, обращенным на восток. Здесь ожидался прорыв большой группы немцев, окруженных севернее Котбуса, на соединение с армией Венка, пытавшейся идти на выручку Берлина с Запада. Воспользоваться этими оборонительными линиями нам не удалось. Потрепанная группировка, но еще представлявшая значительную силу вследствие большой численности, пошла севернее, в направлении пригородов Берлина. В районе Котбусских лесов было окружено 13 немецких дивизий, их не стали ликвидировать. Наши войска их окружившие, были брошены на штурм Берлина, оставив вражеские войска практически без присмотра. Сидели они две недели в ожидании нашего наступления. Однако это лишь деморализовало немцев — по их последующим показаниям, игнорирование столь внушительной группировки в тылу свидетельствовало о больших наших силах на берлинском направлении и уверенности в успехе нашего командования. Нам пришлось сняться с занимаемых позиций, выступить

наперерез немцам. В ночь на 1 Мая наша дивизия пошла на северо-восток, а рано утром завязала встречный бой. Немцы наваливались со всех сторон, но сокрушить нас не могли. Им не хватало техники, а самое главное — моральный дух был подорван, отсутствовал настоящий наступательный порыв. Несмотря на огромные потери, они вновь и вновь шли на наши позиции. Прорваться на запад удалось лишь немногим, к Берлину — никому. Немцы заплатили огромными жертвами за эту безумную попытку. В 13 часов бой фактически прекратился. Враг начал сдаваться, сначала отдельными группами, затем целыми подразделениями. Это был мой последний бой. В Берлине я оказался, когда город был уже освобожден, расписался на рейхстаге. По этой подписи, увиденной одним из моих сокурсников по теплоэнергетическому факультету МЭИ, в институте узнали, что я еще жив.

Затем нас направили на Запад. Эльбу мы форсировали без боев благодаря царившей в то время сумятице и вышли к р. Мульде (30 км западнее р. Эльбы) на разграничительную с американцами линию. Здесь, в Виттенберге, я встретил День Победы в звании капитана и должности первого помощника начальника штаба стрелкового полка. Но воевать мы продолжали.

Немцы попытались организовать партизанскую войну, в которой подвела их пунктуальность. Все командиры — отделений, взводов, рот имели отличительные знаки — повязки на шее, значки, так что их легко было отличить от мирных немцев. Они имели при себе карты, где были обозначены их опорные пункты и склады с оружием. По этим картам оружие легко было найти. В 2 недели с партизанским движением было покончено.

В середине июня открылись раны. В это время наш полк отводился на Родину, и я вместе с ним возвратился в Ковель, оттуда — в Киев, а долечивался в Москве.

За участие в боях в районе Одера меня наградили орденом Отечественной войны II степени, а за бои под Берлином — второй Красной Звездой. Высоко ценю эти награды, но главной наградой считаю то, что остался жив, пройдя столько километров по дорогам войны.

АТОМНЫЙ ЛЕДОКОЛ «ЛЕНИН»*

*А.П.Александров, И.И.Африкантов, А.И.Брандаус,
Г.А.Гладков, Б.Я.Гнесин, В.И.Неганов, Н.С.Хлопкин*

I. Создание в СССР атомного ледокола для решения важных народнохозяйственных задач

Развитие производительных сил северных районов Советского Союза поставило задачу создания нового мощного и совершенного ледокольного флота, способного осуществлять ускоренную проводку караванов судов по трассе Северного морского пути, продлить период навигации, расширить трассу за счет использования более высоких широт с целью увеличения грузооборота и объема арктических перевозок.

Существующие ледоколы и транспортные суда ледокольного типа, работающие на угольном или нефтяном топливе, в связи с необходимостью частых бункеровок не могут использовать арктический бассейн для плавания по всей его широте и ограничиваются сравнительно узкой прибрежной полосой, условия плавания по которой, как правило, стеснены и ограничены сложной ледовой обстановкой.

Постоянная угроза остаться в ледовой обстановке без топлива заставляет капитанов крайне осторожно расходовать его, а потому часто ледоколы вынуждены работать на неполную мощность, что снижает их эффективность при проводке судов.

Создание мощного ледокола, практически с неограниченной автономностью плавания, способного использовать для плавания любую зону Арктики, стало возможным при применении энергетической установки на ядерном горючем.

* Доклад на Второй Международной конференции Организации Объединенных наций по применению атомной энергии в мирных целях, А/ conf 15/P/2140, 1958 г.

Практическое осуществление этой возможности потребовало решения учеными и инженерами ряда сложных технических вопросов и проблем.

1. Создание компактной ядерной энергетической установки высокой мощности и маневренности, обладающей необходимой живучестью в тяжелых условиях качки, вибраций и ударных нагрузок с обеспечением радиационной безопасности при работе как в открытом море, так и в портах при минимальных весах биологической защиты.
2. Создание ядерного реактора с решением комплекса физических, теплотехнических и технологических вопросов.
3. Выполнение уникального энергомеханического оборудования, высокопрочного корпуса корабля, разработка ряда специальных материалов.
4. Внедрение почти полной автоматизации процессов управления, регулирования и контроля взаимосвязанных энергетических систем.

Весь этот комплекс вопросов был успешно разрешен промышленностью, рабочими, инженерами и учеными нашей страны.

II. Характеристики ледокола

Мощный атомный ледокол, спроектированный в соответствии с основным своим назначением — увеличить объем перевозок грузов и расширить фронт научных исследований в Арктике, — был заложен на судостроительной верфи в Ленинграде 25 августа 1956г. и спущен на воду 5 декабря 1957г. В настоящее время производится достройка ледокола на плаву.

Основные характеристики ледокола приведены в табл. 1.

По одному из основных корабельных качеств, особо важному для Арктики, где затруднен, а подчас и невозможен подвоз топлива -автономности плавания, равной 1 году, — он на порядок превосходит существующие ледокольные суда.

По своей мощности — 44000 л.с. на фланцах редукторов главных турбин — турбоэлектрическая установка ледокола не имеет прецедента для этого класса судов. Благодаря этому энерговооруженность ледокола доведена до 2,75 л.с. на тонну водоизмещения, что превышает энерговооруженность действующих в настоящее время ледоколов почти в 1,5 раза.

Полное водоизмещение ледокола 16 000 тонн.

Главные размерения ледокола — длина наибольшая 134 м, ширина наибольшая 27,6 м, высота борта при миделе 16,1 м, осадка — 9,2 м — были выбраны с учетом не только специфики, присущей ледоколу вообще, но и с учетом ряда ограничений, накладываемых требованиями нормальной эксплуатации, а именно: малое отношение длины к ширине, необходимое для лучшей маневренности во льдах; возможность заводки ледокола в сухие доки; обеспечение непотопляемости и аварийной остойчивости, обеспечение лучших по сравнению с существующими судами качеств (повышенная автономность и энерговооруженность, улучшенная обитаемость корабля и др.).

Таблица 1

Основные характеристики ледокола

1. Тип ледокола
2. Автономность плавания
3. Длина наибольшая
4. Ширина наибольшая
5. Мощность на фланцах редукторов турбин
6. Водоизмещение
7. Энерговооруженность ледокола
8. Скорость полного хода на воде без льда
9. Скорость непрерывного хода во льдах толщиной 2,4 м
10. Число гребных винтов
11. Число оборотов полного хода
 среднего винта
 бортовых винтов
12. Упор винтов, развиваемый на переднем ходу в швартовном режиме
13. Вес приготовленной к действию атомной энергетической установки (включая защиту)
14. Вес защиты установки
15. Суммарный вес приготовленной к действию механической установки (включая гребные электродвигатели и электростанции, но без атомной энергетической установки)
16. Полная паропроизводительность установки
17. Параметры пара: температура
 давление
18. Расход пара на главные турбогенераторы
19. Мощность вспомогательных электростанций
20. Производительность вспомогательного парового котла

При проектировании ледокола особое внимание было уделено отработке наиболее оптимальной формы носовой оконечности, так как ее обводы в первую очередь влияют на ледокольные качества судна.

Выбранная форма позволяет иметь относительную величину нормального давления ледокола на лед на 15% больше, чем у существующих ледоколов.

Окончательному выбору формы носовой оконечности предшествовали испытания моделей в ледовом бассейне и натурные испытания во льдах.

Завал борта у мидель-шпангоута является достаточным для предохранения надстроек при случайных навалах бортом во время оковки проводимых судов или швартовки.

При проектировании кормовой оконечности основное внимание было уделено осуществлению надежной защиты винтов и руля и обеспечению ледопроходимости на заднем ходу.

В надводной части кормы имеется специальная выемка, предназначенная для буксировки судов вплотную.

Ледокол имеет три кормовых винта с распределением мощностей в отношении 1:2:1.

При установке винтов постоянного шага практически невозможно иметь оптимальные режимы работы для ходового и швартовного режимов.

Поэтому при разработке винтов основное внимание было уделено получению максимального упора при ходе во льдах. На полной мощности при переднем ходе развиваемый швартовный упор на винтах равен 330 т.

Расчеты ледопроходимости, выполненные по данным специально проведенных натуральных испытаний ледокола «И. Муромец», показали, что при упоре 330 т ледокол способен продвигаться непрерывным ходом в сплошном ледяном поле толщиной >2 м.

Конечно, эти данные являются ориентировочными. Однако представление о способности ледокола «Ленин» ходить во льдах может дать табл.2.

Из приведенной таблицы видно, что как по энерговооруженности на одну тонну водоизмещения, так и на один метр ширины ледокол «Ленин» превосходит все существующие в мире ледоколы, в том числе и ледокол США «Глетчер», и сможет форсировать более тяжелые льды, чем это делают современные ледоколы.

Для улучшения проходимости ледокола во льдах на нем оборудованы специальные креновая и дифференциальная системы,

Сравнительные характеристики ледоколов

	«Ермак» СССР	«Д.Ибервиль» Канада	«Лабрадор» Канада	«Глетчер» США	«Ленин» СССР
1. Отношение установленной мощности к полному водоизмещению (энерговооруженность) (л.с./т)	0,95	1,22	1,96	2,20	2,75
2. Отношение установленной мощности к ширине по ватерлинии (л.с./м)	350	550	556	900	1640

обслуживаемые пропеллерными реверсивными электронасосами производительностью по 4000 т/час каждый.

Управление этими электронасосами централизовано и автоматизировано. Скорость полного хода на глубокой и тихой воде при полном водоизмещении, по данным модельных испытаний в бассейне, составит не менее 18 узлов.

Модельные испытания и расчеты показали, что при полной скорости переднего хода при перекладке руля на 35° диаметр установившейся циркуляции составляет около 3-3,5 длин корпуса.

На заднем ходу для улучшения управляемости ледокол маневрирует бортовыми винтами.

Учитывая возможность тяжелых условий эксплуатации ледокола (форсировка тяжелых льдов в высоких широтах), приняты повышенные значения расчетных ледовых нагрузок на бортовой набор и наружную обшивку ледового пояса корпуса ледокола.

Для выяснения характера распределения ледовых нагрузок по борту ледокола были проведены натурные испытания одного из плавающих ледоколов и выполнены теоретические исследования картины ломки льда ледоколом.

Была также проанализирована прочность бортового набора и наружной обшивки пояса плавающих и спроектированных ледоколов отечественной и иностранной постройки.

Для обеспечения надлежащей прочности всех связей корпуса, воспринимающих принятые расчетные ледовые нагрузки, потребовалось создание новой марки стали высокого сопротивления,

обладающей повышенной ударной вязкостью и хорошей свариваемостью, а также хорошей сопротивляемостью распространению трещин при низких температурах.

Наружная обшивка ледокола имеет ледовый пояс толщиной 36 мм в средней части, 52 мм в носовой оконечности и 44 мм в кормовой.

Прочность корпуса является достаточной для выдерживания любого возможного в арктических условиях сжатия льдов.

Вследствие значительной ширины ледоколы всегда имеют большую поперечную метацентрическую высоту, что вызывает порывистую качку при плавании в открытом море.

На ледоколе «Ленин» поперечная метацентрическая высота имеет сниженную по сравнению с обычными ледоколами величину и при полном водоизмещении она составляет 1,9 м. При этом, по результатам модельных испытаний, период бортовой качки для ледокола «Ленин» должен составлять не менее 10 сек. Период килевой качки 7-8 сек.

Благодаря значительной высоте надводного борта, остойчивость ледокола обеспечивает безопасность плавания в любых условиях эксплуатации.

Принятая величина седловатости в носовой части ледокола обеспечит ему достаточную защиту от забрызгивания и заливаемости при ходе на волнении.

Как правило, гражданские суда непотопляемы при затоплении лишь одного главного отсека.

Корпус ледокола разбит одиннадцатью главными поперечными водонепроницаемыми переборками на отсеки. Длина и распределение переборок полностью соответствуют требованиям Международной конвенции по охране человеческой жизни на море (1948 г.).

При таком разделении корпуса в любом эксплуатационном состоянии ледокола, включая наличие дифферента около 2,0 м, осуществлена непотопляемость его при одновременном затоплении любых двух главных водонепроницаемых отсеков и при размерах повреждения, соответствующих требованиям Международной конвенции 1948 г.

Указанная непотопляемость в сочетании с весьма прочным корпусом создает надежную гарантию возможности сохранения ледокола на плаву при случайных авариях, что особенно важно, учитывая наличие на ледоколе установки на ядерном горючем.

По внешне-архитектурному виду ледокол представляет собой гладкопалубное судно с умеренной седловатостью, удлиненной надстройкой и двумя мачтами. На открытой части шлюпочной палубы

размещены катеры и спасательные шлюпки, а в кормовой части — взлетно-посадочная площадка для вертолета и ангар.

Ледокол имеет четыре непрерывных палубы и две платформы.

Две продольные переборки, идущие от второго дна до верхней палубы, образуют с обоих бортов отсеки, в которых размещены главным образом креновые, балластные, топливные и другие цистерны (до нижней палубы) и различные кладовые, служебные помещения и каюты личного состава (выше нижней палубы).

Между продольными переборками по высоте от трюма до верхней палубы расположены помещения механической установки.

На жилой и верхней палубах с обоих бортов между главными продольными переборками и каютами проложены магистральные коридоры для удобного сообщения со всеми главнейшими помещениями по длине ледокола без выхода на открытые участки палуб. В верхней части магистральных коридоров выделены пространства для прокладки трубопроводов и кабеля. Для сообщения с помещениями ледокола по высоте применены широкие трапы с малым наклоном.

Рулевое, якорное и швартовное устройства приняты обычные для судов этого типа.

Для буксировки судов установлена буксирная лебедка с тяговым усилием 40 т.

Выполнение грузовых операций производится тремя электрическими кранами.

Для ледовой разведки и связи с береговыми пунктами и судами на ледоколе предусмотрен вертолет.

На ледоколе оборудованы необходимые кладовые и мастерские, а также цистерны запасов топлива для дизелей и вспомогательных котлов, котельной, питьевой и мытьевой воды.

III. Обитаемость

Особое внимание при проектировании ледокола было обращено на обеспечение высокого уровня обитаемости и удобств для личного состава, учитывая возможность необычно длительного пребывания в море без захода в порты.

Весь экипаж размещен в одно— и двухместных каютах. В каютах предусмотрено зимнее кондиционирование воздуха и водяное отопление, создающие хорошие климатические условия, подвод горячей и холодной воды к умывальникам, лампы дневного света, что особенно ценно в период полярной ночи.

Каюты старшего командного состава состоят из кабинета и спальни, а помещение капитана состоит из салона, кабинета и спальни с индивидуальным санузелом.

Высоты междупалубных пространств в районе расположения кают приняты 2,4-2,5 м, что способствует улучшению обитаемости.

На ледоколе предусмотрены хорошо оборудованные столовая и кают-компания, совмещенные по вертикали с камбузным блоком. Такое совмещение дает возможность быстро подавать лифтом пищу в столовую и кают-компанию.

Для проведения культурного досуга и отдыха экипажа в столовой и кают-компании предусмотрена возможность демонстрации кинофильмов. Оборудованы: клуб, библиотека, читальная, курительный и музыкальный салоны. Расположение и оборудование клуба позволяет проводить в нем занятия с личным составом, настольные игры и выступление самодеятельности.

Просторное и высокое помещение столовой для команды (около 3-х метров) дает возможность качественно показывать кинофильмы. Ваньные, бани и душевые кабины расположены в удобных местах и удалены от жилых кают.

Медицинский блок включает: амбулаторию, объединенную с физиотерапевтическим кабинетом, операционную, зубоврачебный кабинет, рентгеновский кабинет, аптеку и лабораторию, лазарет и изолятор. В этих условиях медперсонал, предусмотренный в штате ледокола, может оказывать необходимую повседневную медицинскую помощь личному составу.

Хранение запасов продовольствия для экипажа предусмотрено в рефрижераторных камерах, расположенных непосредственно в районе размещения камбузного блока.

Кроме жилых, санитарно-гигиенических и бытовых помещений экипажа, на ледоколе предусмотрены также жилые помещения и различные кладовые для экспедиционного и летного состава.

Большое внимание при проектировании уделено архитектурно-художественной отделке кают и помещений общего назначения, как то: кают-компания, музыкального и курительного салонов, столовой, вестибюлей, клуба и читальни.

IV. Механическая установка

При проектировании и постройке механической установки в основу была положена необходимость осуществления максимальной надежности и долговечности всех ее элементов, безопасности

и удобства эксплуатации, в некоторых случаях в ущерб экономическим показателям.

С целью осуществления максимальной надежности были реализованы следующие мероприятия:

- 1) основные механизмы и аппараты: циркуляционные, конденсатные, питательные, масляные насосы и некоторые другие, обслуживающие механическую установку, имеют 100% резерв.

Питательные турбонасосы работают в параллель с целью осуществления бесперебойной подачи питательной воды к парогенераторам. Эти насосы имеют автоматические регуляторы поддержания постоянного перепада давления на питательном клапане и в случае аварийного выхода из действия одного из насосов другой автоматически повышает число оборотов и увеличивает подачу воды к парогенератору в количестве, необходимом для поддержания заданного режима работы установки.

Циркуляционные и конденсатные турбонасосы могут работать как в параллель, так и каждый в отдельности в зависимости от обстановки. Резервные масляные электронасосы главных турбин подключаются автоматически при опасном понижении давления масла в маслопроводе;

- 2) механическая установка разделена на два автономных эшелона, которые расположены в нос и в корму от атомной парогенераторной установки.

Все главные трубопроводы — паровые, конденсатные, питательные — выполнены в виде кольцевых магистралей и позволяют надежно осуществлять подачу рабочей среды по любому борту для любого эшелона механической установки;

- 3) питание энергомеханической установки ледокола электроэнергией осуществляется двумя автономно расположенными электростанциями, укомплектованными турбогенераторами мощностью 1000 квт каждый. В одной из электростанций установлен резервный дизель — генератор мощностью 1000 квт для обеспечения возможности запуска энергетической установки при отсутствии пара на ледоколе;

- 4) для обеспечения бесперебойного питания электроэнергией парогенераторной установки, помимо резервного дизель-генератора, установлены два аварийных дизель-генератора мощностью по 100 квт с автоматическим запуском при исчезновении напряжения в сети;

- 5) для уменьшения вероятности засоления питательной системы все теплообменные аппараты, включенные в цикл пароконденсат, выполнены с двойными трубными досками; в конденсаторах главных и вспомогательных турбогенераторов пространство между трубными досками имеет водяное уплотнение;
- 6) в целях всемерного снижения соледержания в питательной воде восполнение утечек из цикла производится дистиллятом, полученным путем двукратного испарения забортной воды с последующей очисткой его в ионообменном фильтре;
- 7) в случае нарушения герметичности парогенераторов для устранения возможности попадания загрязненного радиоактивными веществами пара к общесудовым потребителям (бани, души, прачечные, вентиляция и др.) питание последних паром предусмотрено от специальных теплообменников, обогреваемых паром парогенераторной установки ;
- 8) снабжение ледокола паром на стоянке, в период бездействия атомной парогенераторной установки, предусмотрено от вспомогательной котельной установки, состоящей из двух водотрубных котлов на нефтяном отоплении;
- 9) применением специальных сталей достигнута высокая прочность валопроводов и винтов, рассчитанных с учетом динамической нагрузки, возникающей при ударах гребных винтов и их заклинивании при плавании во льдах.

Для увеличения надежности циркуляционные и конденсатные насосы главных турбогенераторов и главные питательные насосы имеют турбинные приводы. Прочие вспомогательные механизмы электрифицированы.

Парогенераторная установка, рассчитанная на обеспечение потребностей ледокола в паре с большим резервом, наличие 3 автономных реакторов, — все это позволило отказаться от использования каких-либо других источников энергии для движения ледокола.

Работа установки ледокола с часто и резко изменяющейся нагрузкой на маневрах вынудила отказаться от регенеративной тепловой схемы с отбором пара от главных турбогенераторов. Принята схема с одноступенчатым подогревом питательной воды в поверхностном подогревателе отработавшим паром вспомогательных турбомеханизмов; отработавший пар используется также в качестве греющего в испарительной установке.

Начальные параметры пара приняты равными 28 кг/см^2 и 310°C , давление отработавшего пара вспомогательных механизмов 2 атм ,

температура подогрева питательной воды около 100°С. Избытки отработавшего пара, сбрасываемые на конденсаторы, на основных эксплуатационных режимах минимальны. Параметры пара приняты постоянными на всех режимах работы установки, что упрощает эксплуатацию механической установки.

В период пуска и расхолаживания парогенераторной установки и на режимах стоянки избытки свежего пара стравливаются на специальный вспомогательный конденсатор.

Необходимость максимально возможного сокращения длины ледокола с целью улучшения его маневренных качеств при работе во льдах поставила перед конструкторами задачу всемерного сокращения общей длины помещений ледокола, занятых механической установкой.

Несмотря на большую мощность установки, эта задача успешно разрешена путем удачного использования высоты помещений ледокола, отведенных под механическую установку. Главные турбогенераторы, поскольку они жестко не связаны с гребными винтами, расположены в верхней части отсеков.

Ниже главных турбогенераторов расположены их конденсаторы и паровоздушные эжекторы. Еще ниже, в трюме, размещены вспомогательные механизмы и испарительные установки. В носовом эшелоне под главными турбогенераторами в трюме в отдельном помещении размещена одна из электростанций, а в кормовом эшелоне — два бортовых гребных электродвигателя с обслуживающими их механизмами и устройствами.

Такое размещение механической установки не только позволило свести до минимума ее общую длину, но также значительно улучшило условия работы всех насосов, получивших значительные и надежно обеспеченные геометрические подпоры на приемных патрубках.

Суммарный вес приготовленной к действию механической установки, включая гребные электродвигатели и электростанции (без атомной парогенераторной установки), составляет 2750 т или 62 кг/л.с. Такой большой удельный вес механической установки обусловлен наличием электродвижения, обеспечивающего высокие маневренные качества ледокола.

Главная турбина, однокорпусная, вращает через одноступенчатый редуктор два параллельно установленных двухкорпусных электрогенератора.

Однокорпусное исполнение турбины, при котором небольшое снижение экономичности позволило упростить конструкцию за счет

исключения паразитной шестерни в редукторе и сокращения числа подшипников и уплотнений, что благоприятно сказывается на надежности агрегата. Облопачивание принято реактивное, как более простое и имеющее большие осевые зазоры, что важно для турбины, работающей с часто и резко меняющейся нагрузкой.

В целях повышения маневренности установки и упрощения конструкции для главных турбин принята дроссельная система регулирования. Главная турбина на полной мощности потребляет 51 т пара в час.

Характерные для паротурбинной установки большие относительные расходы охлаждающей воды — до 400 л/л.с./час против 50 л/л.с./час в дизельных установках ледоколов — и высокая мощность установки потребовали специального изучения вопроса о бесперебойном приеме забортной воды, учитывая возможность закрытия и засорения льдом приемных отверстий ледовых ящиков.

В результате испытаний ряда моделей в ледовом опытном бассейне для приема охлаждающей воды на ледоколе для каждого эшелона механической установки предусмотрены по два бортовых ледовых ящика с наружными и внутренними защитными решетками. Ящики попарно сообщаются перетоками в междудонном пространстве. Пропускная способность ледового ящика одного борта достаточна для нормальной работы своего эшелона механической установки.

Управление механической установкой осуществляется с местных постов и дистанционно — из поста энергетики.

Учитывая повышенные требования к маневренности парогенераторной установки ледокола в возможных режимах часто и резко меняющейся нагрузки, с целью обеспечения спокойной работы парогенераторной установки в этих условиях предусмотрено устройство для автоматического сброса излишков свежего пара на главные конденсаторы, которые могут иметь место в этом случае. В обычных режимах работы и при переходах с одного уровня мощности на другой маневренные характеристики энергомеханической установки позволяют обходиться минимальным травлением пара.

V. Электрооборудование

Работа ледокола при форсировке тяжелых льдов и в особенности при околке проводимых судов требует высоких маневренных качеств от гребной электрической установки. Наилучшим образом этим требованиям удовлетворяют машины постоянного тока.

При системе электродвижения на постоянном токе удалось сравнительно просто осуществить питание трех гребных электродвигателей от четырех турбогенераторных агрегатов, работающих при постоянной скорости вращения, а также распределить мощность от каждого турбогенератора на гребные валы в отношении 1:2:1.

Такое распределение дает возможность передать половину мощности на наиболее защищенный от поломок средний винт. В случае поломки лопастей одного из бортовых винтов остается возможность использования 75% мощности.

На ледоколе для гребной электрической установки постоянно тока применено напряжение 1200 в, что до сих пор не встречалось в практике судостроения.

Генераторы выполнены двухякорными, мощностью по 1920 квт на каждом якоре при напряжении 600 вольт и 595 об/мин, с самовентиляцией по замкнутому циклу через воздухоохладители.

В одном из генераторов каждого агрегата оба якоря соединены параллельно и представляют одну электрическую машину мощностью 3840 квт.

Таким образом, каждая турбина через редуктор как бы вращает три генератора: два по 1920 квт и один 3840 квт. Генераторы по 1920 квт предназначены для питания бортовых гребных электродвигателей, а генератор 3840 квт — для питания среднего гребного электродвигателя. Таким образом, каждый турбогенераторный агрегат питает энергией одновременно три гребных электродвигателя.

Гребные электродвигатели — двухякорные, защищенного исполнения с принудительной вентиляцией по замкнутому циклу через воздухоохладители, на двух стояковых подшипниках с принудительной смазкой.

Средний гребной электродвигатель длительной мощностью 19 600 л.с. (9800 л.с. на якоре), напряжением 1200 в на якоре, является уникальной машиной.

Бортовые гребные электродвигатели длительной мощностью по 9800 л.с. (4900 л.с. на якоре), напряжением 1200 в на якоре.

Для системы каждого гребного винта установлены три возбуждающих агрегата: два рабочих и один резервный.

Каждый возбуждающий агрегат состоит из четырех машин: возбуждателя двух генераторов, возбуждателя одного якоря гребного электродвигателя, генератора постоянного напряжения для питания цепей управления и приводного электродвигателя переменного тока.

В качестве возбудителей генераторов и гребных электродвигателей применены двухступенчатые электромашинные усилители с большим коэффициентом усиления.

Пульт управления гребной установкой расположен в посту энергетики и обеспечивает дистанционное управление тремя гребными моторами и контроль за работой гребной электрической установки. На пульте установлены измерительные приборы, сигнальные лампы и три поста управления.

Дистанционные посты управления установлены в ходовой рубке и обеспечивают управление из ходовой рубки и с верхнего ходового мостика.

Для контроля за работой гребной электрической установки в ходовой рубке и на верхнем ходовом мостике установлены щитки сигнализации.

Схема главного тока для каждого гребного мотора состоит из двух самостоятельных электрических контуров, в каждый из которых входят: один якорь гребного электродвигателя и два генератора различных турбин в последовательном соединении.

Все возможные варианты работы гребной установки осуществляются при помощи самостоятельных избирательных переключателей для каждого генератора.

Применение электромашинных усилителей в качестве возбудителей генераторов и гребных электродвигателей обеспечивает плавное протекание переходных процессов при пусках и реверсах, поддержание постоянства мощности при изменении моментов на гребных винтах от швартовной характеристики до хода в свободной воде, стоянку электродвигателей под током в случае заклинивания гребного винта и ограничивает рекуперацию энергии от винтов к турбинам при реверсе в свободной воде.

Использование электромашинных усилителей вследствие малой мощности, потребной на управление, позволило применить в постах управления малогабаритные сельсины.

Вспомогательная электростанция, питающая электроэнергией вспомогательные механизмы ледокола, выполнена на переменном трехфазном токе 50 гц, что позволяет применить для судовых электроприводов более простые, дешевые и надежные в эксплуатации по сравнению с двигателями постоянного тока асинхронные короткозамкнутые двигатели.

Принятое напряжение 380 в обеспечило уменьшение веса и удешевление кабельной сети и позволило осуществить — прямой пуск большинства электроприводов.

Для освещения принято напряжение 127 в, что дало возможность использовать лампы накаливания с большей световой отдачей и применить люминесцентные светильники малых габаритных размеров.

Распределение электроэнергии производится через две электростанции по фидерам к потребителям и к распределительным щитам.

VI. Средства связи и управления

На ледоколе установлены два радиолокатора — ближнего и дальнего действия. Локатор ближнего действия предназначен для решения оперативных навигационных задач; локатор дальнего действия — для наблюдений за окружающей обстановкой и вертолетом, кроме того, он частично дублирует локатор ближнего действия в условиях снегопада и дождя.

Средства радиосвязи, размещенные в носовой и кормовой радиорубках, обеспечивают уверенную связь на ультракоротковолновом, коротковолновом, средневолновом и длинноволновом диапазонах со всеми возможными корреспондентами — береговыми базами, портами, караванами судов, самолетами и пр.

Предусмотрена также мощная электромегафонная аппаратура для осуществления голосовой связи на рейде с судами и берегом.

Установленные современные штурманские приборы — гирокомпасы, лаги, эхолоты — по два комплекта, автомат-прокладчик, радиопеленгатор, радиokoординатор и прочие средства судовождения специально разработаны с учетом использования их в условиях работы ледокола. Все оборудование размещено в двух гиропостах, штурманской рубке, выгородке лагов и эхолотов и в постах управления кораблем — ходовой рубке и на мостиках.

Внутрикорабельная связь осуществляется с помощью обиходной автоматической телефонной станции на 100 номеров, ряда отдельных телефонных групп, устройств громкоговорящей связи и мощной судовой трансляционной установки.

На ледоколе имеется большое число средств звуковой и световой сигнализации, обеспечивающих обиходные и служебные нужды.

Для управления машинами ледокола предусмотрены командные приборы — телеграфы с синхронной связью на переменном токе.

VII. Типы реакторов и их число

На ледоколе, предназначенном для проводки караванов судов по Северному морскому пути и для экспедиционного плавания в Арктике, можно ставить атомную энергетическую установку только с надежными, безопасными, стабильными в работе и простыми в обслуживании реакторами.

Таковыми реакторами являются водоводяные, в которых и теплоносителем и замедлителем служит вода под давлением. Чтобы снизить количество конструкционных материалов в активной зоне, реактор выполняется в виде толстостенного стального корпуса, воспринимающего давление циркулирующей воды.

Хорошие замедляющие свойства воды, благодаря наличию в ней большого количества водорода, позволяют получить очень компактные активные зоны со сравнительно небольшими размерами корпуса, хотя и достаточно толстыми стенками. Эти стенки одновременно служат и биологической защитой.

Характерной особенностью водоводяного реактора является высокая прочность всех его узлов, рассчитанных на большое внутреннее давление. Благодаря этому почти автоматически выполняется одно из важнейших требований к ледокольной установке — способность выдержать воздействие вибраций, ударных нагрузок и качки. Работа водоводяных реакторов стабильна, так как они обладают большой степенью саморегулируемости вследствие отрицательного температурного коэффициента активной зоны, определяемого значительным уменьшением плотности воды при нагреве ее.

Для активной зоны водоводяного реактора требуется обогащенный уран.

Однако на ледоколе нет жестких ограничений на использование обогащенного урана. Во-первых, стоимость вырабатываемой энергии на транспортных установках с обычным топливом сравнительно высока из-за использования дорогого оборудования. Во-вторых, и это главное, сложность подвоза большого количества топлива в условиях Арктики, уход с трассы проводки судов для бункеровки при короткой северной навигации, сложность самой бункеровки сильно удорожает эксплуатацию обычных ледоколов. У атомного ледокола, обладающего большой автономностью плавания, необходимость в указанных операциях отпадает.

Недостатком реактора с водой под давлением являются низкие температуры перегрева пара, обусловленные сравнительно низкими температурами теплоносителя первого контура. Здесь

нельзя использовать турбины с современными высокими параметрами пара, применяемые в обычных судовых установках. Поэтому турбины для водоводяных реакторов необходимо заново разрабатывать.

С точки зрения уменьшения веса и размеров парогенераторной установки выгоднее иметь один мощный реактор. Однако для ледокола, предназначенного решать важные народнохозяйственные задачи, по соображениям надежности должно быть не менее двух независимых источников энергии, т.е. не менее двух реакторов. В этом случае выход из строя какого-либо оборудования или срабатывание аварийной защиты на одном из реакторов не приведет к потере хода ледокола.

На ледоколе было решено поставить еще один реактор, третий, который, по существу, является резервным. Наличие резервного реактора не привело к значительному увеличению веса и габаритов установки. Вес приготовленной к действию атомной парогенераторной установки ледокола, включая защиту, составляет 3017 т при мощности главных трубогенераторов 44 000 л.с. Удельный вес установки на 1 л.с. составляет 68,5 кг/л.с.

Резервный реактор позволяет значительно снизить запасы реактивности на йодные ямы у остальных реакторов, тем самым давая возможность или увеличить процент выгорания топлива, или снизить начальную избыточную реактивность, уменьшить перекосы эверговыведения, обусловленные системой компенсации, и снизить тепловые нагрузки в активной зоне.

Этот реактор выводится на неполную мощность только при работе в тяжелых льдах, когда от ледокола требуется максимальная мощность и безотказность в работе даже в случае выхода из строя любого элемента оборудования. В случае выхода из строя одного из реакторов корабль практически не теряет хода и мощности, что очень важно, так как ледокол должен обеспечить проводку каравана кораблей.

Кроме того, резервный реактор позволяет производить своевременный профилактический осмотр и ремонт оборудования парогенераторной установки.

VIII. Парогенераторная установка

Парогенераторная установка состоит из 3 автономных секций. В состав каждой секции входит реактор со всеми обслуживающими его системами и оборудованием.

Технологическая схема секции принята двухконтурной. Первый контур — контур высокого давления — объединяет реактор, парогенератор, циркуляционные насосы, компенсаторы объема и другое оборудование. В первом контуре циркулирует вода под давлением до 200 атм, снимающая тепло в реакторе и отдающая его второму контуру в парогенераторе. Второй контур — контур среднего давления — объединяет парогенератор, турбогенератор с конденсатором, конденсатные и питательные насосы, теплый ящик. В парогенераторе за счет тепла первого контура получается перегретый пар, который направляется к главным турбогенераторам, вспомогательным турбогенераторам, турбонасосам и на другие нужды корабля. Наличие двух контуров, изолированных друг от друга, увеличивает надежность установки, так как позволяет работать при нарушении герметичности тепловыделяющих элементов.

Полная расчетная паропроизводительность установки составляет 360 т/час при 100% нагрузке реакторов и следующих параметрах пара: давление пара на выходе из парогенератора 29 атм, температура пара на выходе из парогенератора 310°C, температура бидистиллята на выходе из реактора 325°C, температура бидистиллята на входе в реактор 248°C, давление бидистиллята в 1-м контуре до 200 кг/см², расход воды в первом контуре 1000 м³/час.

Реактор имеет две автономные петли по первому контуру, каждая из которых имеет свой парогенератор, два главных циркуляционных насоса, аварийный насос, фильтр с холодильником. Для производства ремонтных работ в случае неисправности какого-либо оборудования или течи в трубопроводах петля может быть полностью отключена задвижками от реактора, который может продолжать работу на сниженной мощности (до 55%). Из двух главных циркуляционных насосов один является резервным. Резервный насос может подключаться в работу параллельно основному насосу, но запитывается от другой электростанции с целью обеспечения 100% расхода воды в реакторе при выходе из строя или электростанции, или одного из насосов.

Для обеспечения снятия остаточного тепловыделения при остановке реактора и в случае выхода из строя главных циркуляционных насосов предусмотрены по два аварийных циркуляционных насоса на каждый реактор.

Аварийные циркуляционные насосы автоматически включаются в работу в момент прекращения работы главных циркуляционных насосов.

При разогреве системы и переходе с одного уровня мощности на другой происходит изменение объемов воды первого контура. Выбрана паровая компенсация изменения объемов, так как она позволяет значительно снизить скорость коррозии в первом контуре. Объем компенсаторов достаточен для того, чтобы колебания давления в контуре при переходных процессах не были велики и чтобы в контуре был запас воды на случай значительной течи. Объем компенсаторов позволяет вести расхолаживание без дополнительной подачи воды в контур. Чтобы уменьшить величину загрязнений, высаждающихся на теплоотдающих поверхностях и на узлах оборудования, а также снизить уровень активности воды в первом контуре, на байпасном контуре производится очистка воды. Очистка осуществляется при помощи специальных фильтров, размещенных в каждой петле. Очищенная вода идет на охлаждение циркуляционных насосов. Для обеспечения нормальной работы фильтра и насосов температура воды в этом контуре понижается до 35°C в специальном холодильнике, стоящем перед фильтром. Расход воды в байпасном контуре — около 1% от общего расхода в петле. Реакторы, трубопроводы и оборудование, содержащие активную воду, помещены внутри защиты.

Кроме упомянутых контуров, имеются еще два вспомогательных контура низкого давления, заполненных дистиллятом. Один из них служит для отвода тепла, выделяющегося в защите. Ввиду того, что в воде возможно появление наведенной на продуктах коррозии активности, весь этот контур помещается внутри защиты и называется поэтому внутренним.

Внешний контур охлаждения, находящийся снаружи защиты, служит для охлаждения холодильников внутреннего контура, а также для охлаждения холодильников фильтров и статоров двигателей насосов.

В свою очередь холодильники внешнего контура охлаждаются морской водой, подаваемой специальными насосами.

Такая многоконтурность вызвана опасениями загрязнения поверхностей осадками из морской воды, а также коррозии поверхностей нержавеющей стали в морской воде.

Для наблюдения и контроля за работой установки имеются системы теплотехнического контроля и сигнализации, а также система дозиметрического контроля. Эти системы производят подачу сигналов в случае ненормальной работы установки. При значительных отклонениях от нормы подается предупредительный сигнал. При аварийных отклонениях параметров от нормы, угрожающих установке, производится быстрая остановка реактора.

Аппаратура и приборы теплотехнического контроля и сигнализации сосредоточены в пультах операторов и щитах теплоконтроля, установленных в посту энергетики и живучести корабля.

Датчики приборов теплоконтроля размещены в специальном помещении и установлены на специальных конструкциях.

На ледоколе имеется две системы дозиметрического контроля - технологическая и биологическая. Технологическая система дает возможность судить о целостности оболочек тепловыделяющих элементов, а также о герметичности всего первого контура. Она состоит из ряда датчиков, установленных на первом и втором контурах, и вторичных сигнальных и показывающих приборов, расположенных на посту энергетики и живучести и на дозиметрическом посту. Биологическая система контроля служит для обеспечения безопасности и измерения интегральных доз как внешнего, так и внутреннего облучения команды. На всех режимах работы парогенераторной установки поддерживается постоянное давление пара. Это осуществляется двумя взаимосвязанными системами: системой регулирования цепной реакции и системой регулирования теплообмена между теплоносителем в первом контуре и водой второго контура.

Поддержание заданного уровня мощности реактора производится системой управления и защиты путем перемещения стержней поглотителей в активной зоне. Быстрое подавление цепной реакции при возникновении аварийных условий производится путем сброса стержней аварийной защиты. При этом вводятся в активную зону все средства регулирования и компенсации реактивности. Аварийная защита срабатывает при получении импульса от превышения мощности реактора, от обесточивания циркуляционных насосов, от превышения температуры на выходе из реактора, от существенного повышения и понижения давления в первом контуре.

С целью уменьшения выбегов температуры воды 1-го контура во время переходного процесса производится согласование изменения мощности реактора с изменением расхода питательной воды.

Время перехода с одного уровня мощности реактора на любой другой (в пределах от 10 до 100% от номинала) не превосходит 2 мин.

Регулирование теплообмена на различных режимах работы установки осуществляется путем воздействия на клапан, регулирующий расход питательной воды, поступающей в парогенераторы.

Датчиком системы регулирования теплообмена является термомпара, установленная на входе воды 1-го контура в реактор.

Конструктивно реактор представляет собой вертикальный цилиндрический корпус с днищем и самоуплотняющейся верхней

крышкой, в которой помещены активная зона и органы регулирования.

Для предохранения наружного прочного корпуса реактора от интенсивного облучения, а также для распределения воды в реакторе по периферии расположены специальные экраны. Совместно с прослойками воды они служат также и отражателями активной зоны.

Корпус имеет наружный диаметр около 2 м и высоту около 5 м. Корпус сделан из низколегированной высокопрочной углеродистой стали. Чтобы защитить его от коррозионного действия воды с высокой температурой, внутрь корпуса вставлена обечайка из нержавеющей стали.

Вода первого контура подводится к реактору снизу, а отводится из верхней части корпуса непосредственно в трубную систему парогенератора, разделенную на 9 отдельных секций. Пар получается в межтрубном пространстве. Конструктивно парогенератор выполнен как прямоточный котел в виде вертикального стального цилиндрического резервуара, трубная система которого имеет экономайзерную зону, испарительную зону и пароперегревательную зону. Общая поверхность теплопередачи одного парогенератора 375 м².

Регулирование паропроизводительности парогенератора осуществляется путем перераспределения поверхности между зонами за счет изменения количества воды в парогенераторе по второму контуру. Это позволяет держать постоянное давление пара при постоянном объемном расходе воды в первом контуре на всех режимах работы установки. Из парогенератора охлажденная вода первого контура идет ко всасывающим линиям главных циркуляционных насосов.

Эти насосы центробежного типа, бессальниковые, выполнены в одном корпусе с электродвигателем.

Двигатель закрытого типа, асинхронный, трехфазного переменного тока с короткозамкнутым ротором, мощностью около 250 квт. Производительность главного насоса — 500 м³/час, напор — 100 м вод.ст.

Статор двигателя отделен от рабочей полости рубашкой из нихрома. Корпус статора герметичный, что обеспечивает сохранение герметичности всей установки при разрушении рубашки, отделяющей ротор от статора.

Пакет железа ротора набран из листов электротехнической стали. «Беличье колесо» ротора выполнено путем заливки пазов ротора алюминием. Для предохранения от коррозии ротор с торцов защищен стальными крышками, а по наружному диаметру — рубашкой.

Вал ротора вращается в двух гидростатических подшипниках, выполненных из специальной стали с наплавкой стеллитом. Для восприятия осевых усилий на валу ротора крепится пята.

Улитка насоса — литая, закреплена в наружном прочном корпусе с помощью электросварки.

Рабочее колесо — закрытого типа, с односторонним осевым входом, крепится консольно на валу электродвигателя.

Для разгрузки осевых усилий с обеих сторон рабочего колеса сделаны лабиринтные уплотнения.

Двигатель охлаждается водой первого контура, поступающей из фильтров, а также водой внешнего контура охлаждения.

Аварийный насос служит для съема остаточного тепловыделения; он тоже центробежного типа и выполнен в одном корпусе с бессальниковым, закрытым электродвигателем. Устроен он аналогично главному насосу, за исключением того, что здесь вместо гидростатических подшипников используются подшипники из специальной пластмассы.

Компенсатор объема представляет собой сосуд высокого давления; нижняя часть которого заполнена водой и соединена с коммуникациями первого контура, верхняя часть компенсатора заполнена паром.

С помощью специального электрического нагревателя вода в компенсаторе нагревается и в верхней части сосуда образуется паровая подушка, поддерживающая давление в системе.

Давление в компенсаторе объема регулируется изменением мощности электронагревателя по импульсу от манометра. Конструкция компенсатора объема обеспечивает возможность демонтажа вышедшего из строя электронагревателя и замены его новым. Задвижки, предназначенные для отсечения петли в случае выхода из строя ее оборудования, предусмотрены спаренными. Они имеют электрический привод с ручным дублером. Нормальное положение задвижки — открытое. В этом положении сальник задвижки разгружен от высокого давления путем посадки шпинделя на специальное гнездо в корпусе задвижки.

Для предохранения команды от действия активных излучений от реактора, парогенераторов и коммуникаций первого контура предусмотрена биологическая защита.

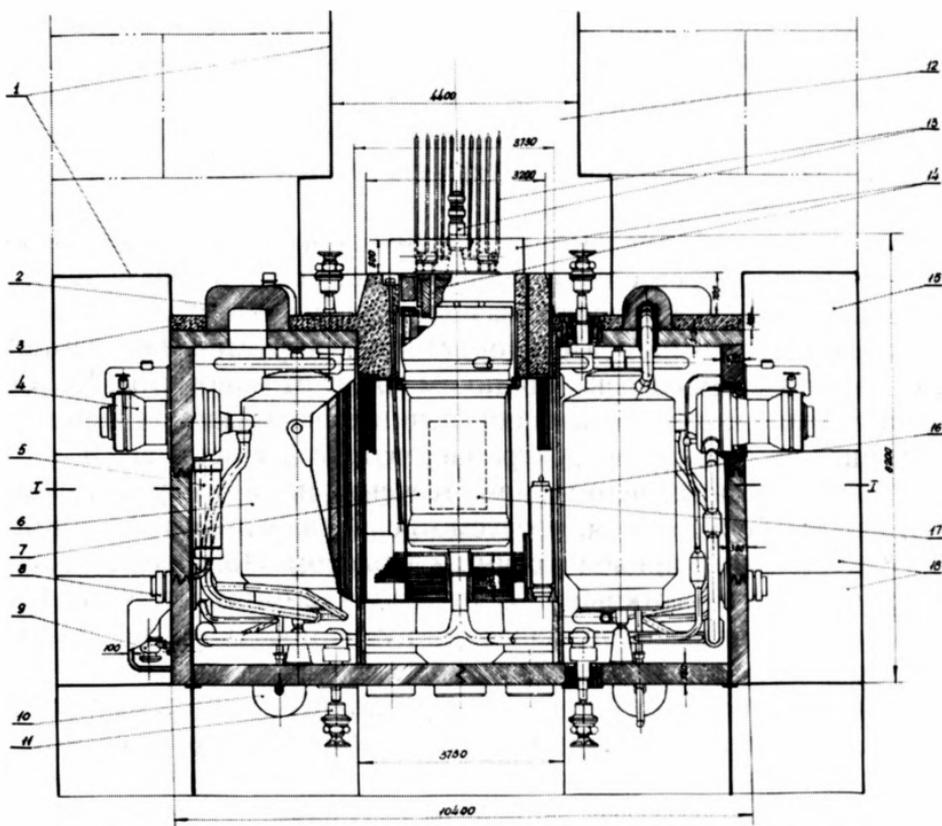
Основным материалом защиты от излучения реакторов выбран железобетонный набор, который позволяет значительно уменьшить размеры защиты. Только в местах со сложной конфигурацией (верх реакторной установки, где проходят главные трубопроводы)

по конструктивным соображениям вместо железобетонного набора используется тяжелый лимонитовый бетон.

В железобетонном наборе по объему примерно половину составляет сталь, а половину вода.

Железобетонный набор размещен в баке, имеющем проточную воду, тепло которой снимается в холодильнике контура внутреннего охлаждения. Чтобы уменьшить ослабление защиты при вытекании воды в случае повреждения стенок бака, произведено секционирование бака. Часть оборудования первого контура размещена таким образом, что играет роль защиты от излучения реактора.

Все оборудование первого контура, содержащее радиоактивную воду, отделено от обслуживаемых помещений стальными стенками толщиной 300—420 мм.



Реакторная установка первого поколения
атомного ледокола «Ленин»

Защита выполнена таким образом, что облученность помещений на корабле вокруг энергетической установки на расстоянии до 3 м составляет 0,1—0,3 дозы.

IX. Активная зона реактора

Активная зона реактора имеет диаметр около 1 м и высоту около 1,6 м. Регулирующие органы вводятся в активную зону сверху и приводят к некоторому перекошу нейтронных полей по высоте активной зоны. Поэтому удлиненная форма активной зоны благоприятна с точки зрения преодоления йодной ямы, так как позволяет при подъеме регуляторов высвободить области с меньшими концентрациями ксенона, а следовательно, и с большей реактивностью. Кроме того, удлиненная активная зона позволяет достичь и больших выгораний делящегося материала с одной и той же загрузки.

Боковым отражателем активной зоны служит набор стальных экранов и водяных прослоек между ними общей толщиной 225 мм; торцовыми отражателями служит вода со стальными конструктивными элементами.

Отражатели одновременно выполняют функции тепловой защиты стенок несущего давления корпуса и создают более благоприятные условия для его работы, так как значительно ослабляют потоки гамма-квантов и нейтронов, поступающих из активной зоны.

Для удобства разгрузки и размещения органов регулирования, увеличения скорости воды около тепловыделяющих элементов и возможности подрегулировки температурного коэффициента тепловыделяющие элементы сгруппированы в каналах. Вода в активной зоне делает два хода.

Холодная вода снизу поступает в центральные каналы, где тепловые нагрузки максимальны, затем опускается по экранам вниз и поступает подогретой в нижнюю часть периферийных каналов, имеющих меньшие тепловые нагрузки. Подъемное движение воды в каналах способствует развитию естественной конвекции в активной зоне при остановке насосов. Вода, находящаяся в межканальном пространстве, имеет небольшой проток и смешивается с водой, выходящей из центральной группы каналов. Тепловая мощность одного реактора — 90 000 квт. Максимальная тепловая нагрузка на поверхности тепловыделяющего элемента с учетом искажений энерговыделения в активной зоне органами регулирования составляет около 10^6 ккал/м²час.

В качестве топливного материала выбрана спеченная двуокись урана несмотря на то, что с ядерной точки зрения двуокись менее выгодна, чем металлический уран, из-за меньшей плотности ядер урана в ней. Выбор определился инженерными соображениями: химической инертностью двуокиси по отношению к воде, стабильностью под действием облучения, отсутствием аллотропных переходов вплоть до температуры плавления, более легкой дезактивируемостью контура при попадании осколков деления в контур.

Активная зона рассчитана на работу на полной мощности примерно в течение года, что практически дает возможность эксплуатировать ледокол без перезарядки в течение нескольких лет. Перегружать ее возможно и поканально и целиком. В реакторе предусмотрена возможность иметь различные активные зоны, а также различные каналы, которых для ледокола разработано несколько типов. Окончательный выбор удобного в эксплуатации и более экономичного типа канала и активной зоны будет произведен после работы реактора в эксплуатационных условиях.

Материалом оболочек тепловыделяющих элементов служит коррозионностойкий сплав циркония или нержавеющей сталь. Основные характеристики активной зоны даны в табл. 3.

Таблица 3

1. Диаметр активной зоны	около 1 м
2. Высота	около 1,6 м
3. Топливо	спеченная двуокись урана
4. Обогащение изотопом урана-235	5 %
5. Загрузка по изотопу урана-235	85 кг
6. Материал оболочки	сплавы циркония
7. Отравляющая добавка – естественная смесь изотопов бора	
8. Тепловая мощность реактора	90 000 квт
9. Максимальная тепловая нагрузка с учетом перекосов энерговыделения	около 10^6 ккал/м ² час

Канал представляет собой сборку, состоящую из тепловыделяющих элементов стерженькового типа.

В связи с сооружением ледокола были пересмотрены и уточнены физические расчеты гетерогенных водоводяных систем, работающих под давлением. Была произведена теоретическая обработка большого количества экспериментальных данных по критмассам как отечественных, так и иностранных, взятых из литературных источников. Кроме того, на опытных реакторах и нейтронных спектрометрах

изучались отдельные параметры, входящие в нейтронные расчеты ядерных установок. В результате этих работ удалось с достаточной степенью точности учесть такие эффекты, как неупругое рассеяние на ядрах урана и циркония, размножение на быстрых нейтронах, распределение тепловых нейтронов в каналах и между каналами, роль надтепловой части спектра нейтронов, и ввести некоторые опытные коэффициенты. Полученный метод расчета дал возможность надежно вычислять с точностью $\pm 0,015$, что является вполне достаточным для транспортных установок. Кроме того, метод расчета позволяет с достаточной точностью получать температурные зависимости реактивности, в том числе и с учетом органов регулирования. На основании этих расчетов были получены также кривые распределения энерговыделений по объему активной зоны, которые легли в основу расчета теплотехники реактора.

Для уменьшения выбегов реактивности в течение кампании, рассчитанной на выгорание более 25% исходного количества изотопа урана-235, применена постепенно выгорающая добавка бора. Бор вводится только в центральные каналы, благодаря чему выравнивается по радиусу нейтронное поле в реакторе и тем самым снижаются тепловые нагрузки, а длительность работы на одной загрузке увеличивается за счет более равномерного выгорания.

Активная зона для целей безопасности и для упрощения регулирования реактора имеет отрицательный температурный коэффициент в рабочей области температур. Он выбран умеренным. Соображения к этому были следующие. При большом отрицательном температурном коэффициенте возможны высвобождения значительной избыточной реактивности при понижении температуры воды. Для компенсации реактивности приходится утяжелять органы регулирования. Одновременно, чтобы уменьшить изменения температуры воды при различных переходных процессах, необходимо иметь малые изменения теплосодержания воды при прохождении активной зоны, что достигается за счет очень сильного увеличения расхода воды через реактор и вызывает увеличение весов и габаритов парогенераторной установки.

Конструкция активной зоны выбрана таким образом, что в начале кампании температурный коэффициент отрицательный во всем диапазоне температур и поглощает часть избыточной реактивности, которая обуславливается введением сверх критической массы дополнительного количества топлива на компенсацию выгорания и зашлаковывания. К концу кампании по мере выгорания топлива и изменения изотопного состава активной зоны температурный

коэффициент отрицателен только в области рабочих температур. Это высвобождает избыточную реактивность и увеличивает энергоъем с одной загрузки. Наличие же некоторого положительного коэффициента в области низких температур не осложняет сколько-нибудь серьезно эксплуатацию установки, так как эта область температур является нерабочей.

Конструкция активной зоны позволяет производить подрегулировку температурного коэффициента за счет изменения температуры воды межканального пространства.

При разработке активной зоны необходимо было учесть одну особенность активной зоны, содержащей двуокись урана в качестве топлива, а именно большую тепловую инерцию тепловыделяющего элемента. Ввиду малой теплопроводности двуокиси температура сердечника тепловыделяющего элемента высока (1000°C и выше), благодаря чему в нем аккумулируется большой запас тепла.

В связи с этим становятся опасными режимы работы активной зоны, связанные с обесточиванием главных циркуляционных насосов, когда расход воды через реактор за короткое время может значительно упасть. Срабатывание аварийной защиты, подавив цепную реакцию, не изменит выделения аккумулированного тепла, которое будет спадать постепенно в течение $5\div 7$ сек., и в этот начальный промежуток времени существенно превышает остаточное энерговыделение продуктов деления.

Это заставило очень тщательно подойти к схеме питания главных циркуляционных насосов. При заметной мощности активной зоны всегда работают не менее двух насосов, питаемых от разных электростанций. При большей мощности, когда при выходе из строя одного из насосов получается весьма напряженный по теплотехнике переходный режим, включаются резервные насосы, запитанные от разных источников энергии. Такое включение главных циркуляционных насосов обеспечивает гарантированную подачу воды в активную зону даже при такой серьезнейшей аварии, как выход из строя целой электростанции.

Управление реактором производится с поста энергетики и живучести, на который выведены основные показания приборов.

Автоматическое поддержание мощности и переход с одного режима на другой осуществляется автоматическим регулятором, состоящим из 3 стержней. Таких регуляторов 2, из которых один резервный. Специальных стержней для ручного регулирования не предусмотрено; для этого используются обычно стержни резервного автоматического регулятора.

Быстрое снижение мощности реактора в аварийных условиях осуществляется стержнями аварийной защиты, которые вводятся в активную зону за время 0,6 сек.

Стержни взводятся вверх электромотором, который вращает шестерни, входящие в зацепление с зубчатыми речками. Между электромотором и рейками помещена фрикционная муфта, управляемая электромагнитом. При обесточивании электромагнита муфта расцепляется, и стержни под действием пружин идут вниз. Конструкция привода позволяет использовать для управления стержнями схемы, самовосстанавливающиеся при кратковременных обесточиваниях.

Медленные изменения реактивности из-за отравления, выгорания и зашлаковывания компенсируются специальной системой пластин, которая для уменьшения искажений энерговыделения в активной зоне сделана полупрозрачной для нейтронов.

Конструкция системы компенсирующих пластин такова, что имеется возможность менять и пластины и их расположение. Это позволяет на основании экспериментальных данных производить корректировку системы с целью уменьшения искажений поля при заданной силе действия. Ввиду большой эффективности системы ее перемещение производится отдельными шагами, величина которых выбрана в соответствии с силой действия автоматических регуляторов. Приводом системы служит электромотор закрытого типа, аналогичный электромотору насосов первого контура. Мотор через редуктор вращает шариковую гайку, которая в зависимости от направления вращения поднимает или опускает шток компенсирующей системы.

Х. Обеспечение безопасности

Обычные морские опасности — столкновение с другим судном, сжатие во льдах, посадка на мель — на ледокол могут оказать лишь малое воздействие, так как он имеет необычайно прочный корпус по сравнению с другими судами.

Однако даже и большие нарушения корпуса, способные вызвать затопление любых двух главных водонепроницаемых отсеков, не приводят к потоплению ледокола.

При потоплении парогенераторная установка, состоящая из узлов, спроектированных на давление 225 атм при рабочих параметрах и спрессовываемых до 350 атм при комнатных температурах, остается неповрежденной до очень больших глубин, что предотвратит выход продуктов деления в воду.

Необходимо иметь также в виду, что весь первый контур парогенераторной установки помещается внутри стальных стен, имеющих толщину 300-420 мм и играющих роль своего рода бронированного пояса.

Радиационная безопасность для команд, обслуживающих ледокол, порт, в котором ледокол находится, или для моря, по которому идет, обеспечивается целым рядом мероприятий, которые подробно изложены в специальном докладе, посвященном этому вопросу. Вкратце они сводятся к следующему.

Биологическая защита ядерно-энергетической установки такова, что в постоянно обслуживаемых помещениях уровень проникающего облучения не превышает $0,2 \div 0,5$ мбэр/сек ($0,1 \div 0,3$ предельно допустимого потока для 8-часового рабочего дня).

В подавляющем большинстве жилых помещений уровень облучения соответствует естественному фону.

Контроль проникающих излучений в помещениях, расположенных вблизи парогенераторной установки, производится стационарными дозиметрами, которые при превышении нормальных для этих помещений уровней дают сигнал на центральный дозиметрический пост, на вход в эти помещения и на место установки датчиков.

Во всех помещениях парогенераторной установки, где возможно появление активности, специальной вентиляцией поддерживается разрежение. Чем радиационно опаснее помещение, тем больше в нем поддерживается разрежение. Отсасываемый из парогенераторной установки воздух выбрасывается в полую грот-мачту.

Часть отсасываемого воздуха из помещений парогенераторной установки, где больше вероятность появления аэрозолей, до выброса в грот-мачту очищается в специальном фильтре.

Активные воды, подлежащие временному хранению на ледоколе, в зависимости от уровня их активности направляются или в защищенную цистерну емкостью 10 м^3 или в незащищенные цистерны емкостью 3 и 25 м^3 .

В плавании предполагается только такой ремонт установки, когда либо совсем не сливается активная вода из первого контура, либо сливается только из части контура. Предполагается, что эта вода будет удаляться из сточной цистерны только на специальной базе обслуживания ледокола. Однако и на ледоколе имеется возможность снижения ее активности до уровня $5 \cdot 10^{-9}$ кюри/л путем выдержки и очистки в специальных фильтрах, размещенных в первом контуре, а также вне контура, соединенного со сточной цистерной.

Выбрасываемые воды из цистерн в море будут иметь уровень активности, не превышающий предельно допустимых концентраций по существующим нормам даже в аварийных условиях.

Индивидуальный дозиметрический контроль и индивидуальная защита персонала осуществляются при помощи следующих средств: работа в помещениях отсека с парогенераторной установкой производится только в спецодежде; по выходе из отсека обязательно производится контроль загрязненности обслуживающего персонала; общая доза облучения изменяется с помощью индивидуальных карманных дозиметрических приборов (конденсаторного типа и типа ИФП).

Создание первой атомной энергетической установки для ледокола.*

Б.Г. Пологих, Н.С. Хлопкин

Еще в то время, когда в нашей стране проходили испытания первой атомной бомбы (август 1949 года), уже проводились работы по использованию ядерной энергетики в мирных целях. К 1949 году относится начало разработки проекта многоцелевого исследовательского реактора для изучения ряда прикладных проблем, включающих радиационную стойкость материалов, длительную работоспособность твэлов, радиолиз теплоносителя, вопросы теплофизики, нейтронной спектроскопии и прочее. Такой реактор начал работать уже в 1952 году в Москве в Институте атомной энергии им.И.В.Курчатова. К 1949 году относится также начало проектных изысканий по реактору первой атомной электростанции. Построенная в Обнинске, она дала первый электрический ток в 1954 году.

28 ноября 1953 года было подписано Постановление Совета Министров СССР о проектировании и строительстве мощного атомного ледокола для Арктики. Постановление готовилось по предложению А.П.Александрова, И.В.Курчатова и руководителей отечественной промышленности и имело любопытную предысторию.

В предвоенные тридцатые годы в нашей стране возобновился интерес к арктическому региону. Увеличилась частота плаваний морями с Запада на Восток. В 1932 году была учреждена Администрация Северного морского пути. Во время Великой Отечественной войны маломощные, но отважные суда ледового плавания

* Российский научный центр «Курчатовский институт» Материалы юбилейной сессии ученого совета центра. 13 февраля 1993 г.

отстаивали наши базы в Заполярье. В районе острова Диксон среди этих судов отличился ледокольный пароход «Ленин». Его имя было передано впоследствии нашему первому атомному ледоколу.

К Крайнему Северу был неравнодушен И.В.Сталин. В послевоенный период он вновь интересовался, строят ли дома в Арктике, рожают ли там женщины и, наконец, предложил сделать Новый Порт в Обской губе крупной перевалочной базой для грузов, направляемых на Север. В связи с этим началось строительство железной дороги из района Северного Урала в Новый Порт. Однако задуманное оказалось во многом проблематичным. Дорога через тундру была не только дорогостоящей, но и постоянно разрушающейся из-за ненадежной опоры на вечную мерзлоту. Обская губа была мелководной и требовала не только сооружения углубленного канала, но и постоянного восстановления его из-за заносов речным песком. Заметных успехов во всем мероприятии не просматривалось, и 22 мая 1947 года Правительство приняло новый план, предусматривающий создание мощных ледоколов, способных обеспечить сквозное плавание по Северному морскому пути транспортных судов. Мощность первого из ледоколов была названа 45000 л.с.

Для реализации плана строительства ледоколов в Ленинграде в 1947 году было создано Центральное конструкторское бюро (ЦКБ-15) под руководством Неганова Василия Ивановича.

В 1948 году работа над проектом ледокола приближалась к завершению. На ледоколе размещались четыре котла, работающих на жидком органическом топливе. Вырабатываемый ими пар направлялся в турбогенераторы, питающие электрическим током гребные электродвигатели. 1949 год стал годом выпуска рабочих чертежей, но уже в 1950 году все это было остановлено. В связи с начавшимся периодом холодной войны ЦКБ было переключено на создание крейсеров. Однако эта работа продолжалась лишь до 1953 года, когда произошла смена руководства страной.

В 1953 году у нас уже полным ходом шли работы по созданию атомной подводной лодки, готовилось строительство наземного прототипа ее реакторной установки. Создалась 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. Научным руководителем создания ледокола был назначен академик А.П.Александров, главным конструктором ледокола — В.И.Неганов, главным конструктором атомной установки — И.И.Африкантов руководитель КБ завода № 92.

Отличительная особенность атомного судна — большая автономность плавания по топливу делала его уникальным для работы в отдаленных районах, например вблизи Антарктиды, где в 50-х годах велся китовый промысел.

Поэтому не случайно вслед за ледоколом были начаты разработки проекта атомной китобазы, выполняемые ленинградским Северным проектным бюро. Реакторная установка по конструктивному исполнению была аналогичной установке атомного ледокола. Отличались от ледокольных внешние технологические контуры с паром и водой. На китобазе был создан производственный технологический контур, дважды изолированный от контура первичного теплоносителя ядерных реакторов во избежание проникновения радиоактивных веществ в продукцию китобазы. Китовый жир широко использовался для приготовления детских лечебных препаратов.

Холодная война продолжалась, ширилось испытание ядерного оружия. Радиоактивные осадки из атмосферы загрязняли воду, сушу и могли проникать в конечную продукцию китобазы. Хотя и малые, а поэтому и неопасные, примеси радиоактивных веществ, появляющиеся в продуктах китобазы, могли привести к дискредитации самой идеи безопасного использования ядерной энергии на судах. Трудно доказывать покупателям товаров, что обнаруженная загрязненность связана с общеатмосферными явлениями, а не с утечками радиоактивных веществ из реакторной установки. Так зародились сомнения в целесообразности завершения создания атомной китобазы. Их разделял и главный санитарный врач Минздрава А.И.Бурназян. В итоге было принято решение отказаться от строительства китобазы с ядерными реакторами.

Между тем корпуса двух ядерных реакторов для китобазы были уже изготовлены. Один из них и ныне исправно служит в Институте атомной энергии им. И.В. Курчатова в качестве корпуса стенда для изучения характеристик судовых реакторов в рабочих условиях.

Ядерные реакторы транспортного назначения отличаются столь малыми внешними размерами и общей массой, что их возможно с успехом разместить даже на небольших китобойных судах, обслуживающих китобойную базу. Это было показано в проработках привязки ядерных реакторов к китобойцам, которая проводилась в конструкторском бюро одного из отделов Института атомной энергии под руководством Д.И.Шеффера. Проработки остались незавершенными в связи с прекращением работ по самой китобазе.

Осень 1953 года проходила во взаимоувязке требований конструкторов собственно нового мощного ледокола, конструкторов

реакторной установки и физиков, ответственных за обеспечение ядерной и радиационной безопасности. Согласовывалось по всем пунктам техническое задание на разработку атомной паропроизводящей установки (АППУ).

От нее требовалась повышенная маневренность по мощности (не менее 1% в секунду), живучесть, гарантирующая сохранение движения в сложной ледовой обстановке, и радиационная безопасность для всех находящихся на борту ледокола и для экипажей и грузов следующих за ледоколом транспортных судов.

К разработке ТЗ были привлечены специалисты ЦКБ-15 под руководством Б.Я.Гнесина и А.И. Брандауса, конструкторы КБ завода № 92, возглавляемые А.М.Шаматовым. В ИАЭ работа по ТЗ была сосредоточена в секторе В.И. Меркина, где была создана группа физиков и теплофизиков, во главе которой был Н.С. Хлопкин. В ТЗ содержались не только требования, но и способы их выполнения.

При выработке ТЗ, конечно, использовался весь задел в проектировании реактора для атомной подводной лодки. Тем не менее, совокупность новых отличительных требований, особенно в части экономики, привела к решению разработать новые реакторы для ледокола. Основные положения по АППУ ледокола были отражены непосредственно в самом ТЗ.

Как и для лодки, выбор был сделан в пользу корпусного реактора с легкой водой под давлением и с полностью герметичным контуром первичного теплоносителя. Присоединяемый к нему компенсатор давления был паровым и достаточным по объему, чтобы можно было исключить слив воды при разогреве первого контура в целом и подпитку водой при расхолаживании. По прочности первый контур был создан с учетом возможности кратковременного удержания давления значительно выше рабочего. Это позволило отказаться от предохранительного клапана. Надежных предохранительных клапанов тогда не было. Отказ в его работе — незакрытие при снижении давления — мог привести к полной аварийной потере всего первичного теплоносителя.

Система управления и защиты (СУЗ) реакторной установки соответствовала выбранной к тому времени концепции. С целью исключения отказов в защите по общей причине она была сформирована из четырех независимых подсистем, различающихся по конструкциям, принципам действия и видам электропитания: две группы стержней автоматического регулирования (АР), шесть групп стержней аварийной защиты, компенсирующая решетка (КР) и

жидкий поглотитель. Полное время срабатывания аварийной защиты 0,5 с. Сброс стержней защиты сопровождается опусканием вниз стержней АР и КР.

В связи с тем, что ледокол должен иметь особо надежную энергетику, позволяющую ему самому выходить из льдов и выводить за собой сквозь льды транспортные суда, не возникало сомнений в необходимости иметь на новом ледоколе не меньше двух реакторов. Полная мощность на винтах могла быть обеспечена двумя реакторами с тепловой мощностью каждого 90 МВт. Однако было решено иметь на первом ледоколе три реактора; третий рассматривался как резервный, вступающий в действие лишь при отказе одного из основных. Фактически оказалась более удобной одновременная работа всех трех реакторов. Этим обеспечивалось более спокойное управление реакторами, так как уровни мощности каждого реактора были ниже, имелась постоянная готовность к восстановлению утраченной мощности ледокола в случае остановки одного из реакторов и появлялась простота в обслуживании в связи с уменьшающимся количеством операций с переключениями при изменении режимов работы.

В предварительных проработках была рассмотрена возможность повышения живучести и приспособленности к маневрированию мощностью установки в целом за счет объединения первых контуров всех трех реакторов. Однако это приводило к резкому усложнению принципиальной теплогидравлической схемы паропроизводящей установки. Возникли при этом большие трудности с компенсацией температурных расширений трубопроводов, появилась дополнительная запорная арматура с большими диаметрами. В случае повреждения оболочек твэлов одного из реакторов загрязнение радиоактивными веществами распространялось бы на первые контуры всех трех реакторов. В результате было решено иметь три независимых реактора. Последующая практика использования реакторов подтвердила правильность такого выбора.

Наличие на ледоколе реакторов, обеспечивающих выдачу пара с большим запасом, и наличие именно трех автономно работающих реакторов позволило отказаться от каких-либо других источников энергии для обеспечения движения ледокола.

Каждый из реакторов ледокола имел две самостоятельные циркуляционные петли, объединяющие по одному прямоточному парогенератору, по два главных циркуляционных насоса (ГЦН), по одному аварийному циркуляционному насосу (АЦН) и имеющие собственные системы очистки теплоносителя и расхолаживания.

Неисправная петля отключается от реактора двояными задвижками. После этого реактор может продолжать работать на мощности вплоть до 55%.

Компенсатор давления подключался к общей точке контура.

С целью уменьшения размеров и массы АППУ все три реакторные установки были объединены единым блоком биологической защиты и имели общие внешние технологические контуры охлаждения оборудования.

Проектирование осуществлялось относительно быстро. Так, 17 июня 1955 года уже был утвержден технический проект АППУ.

Заметим здесь, что с целью повышения экономичности ледокола А.И.Алиханов предложил иной ядерный реактор — гомогенный тяжеловодный. Но в этом предложении была проблема с созданием герметичного циркуляционного насоса для перекачки водной дисперсной смеси или солевого раствора топлива. Сложной для решения представлялась задача с исключением возможностей осаждения топлива в застойных участках первого контура. Главной неприятностью была исключительно высокая радиоактивность среды первого контура. Она влекла за собой увеличение массы биологической защиты и сложную по своему решению защищенность от потенциально возможных, даже весьма малых, утечек теплоносителя из первого контура. На борту ледокола пришлось бы иметь подобие химического производства с приготовлением и высоконадежным хранением топливных растворов. В США также рассматривались судовые гомогенные реакторы с сульфидом урана. Но и там и у нас такие реакторы не нашли поддержки.

Повышенное резервирование оборудования было предусмотрено не только в АППУ ледокола, но и в оборудовании второго — паросилового контура, и в оборудовании машинных отделений и электростанций. На ледоколе были установлены 4 главных турбогенератора (ГТГ). Каждый из них был снабжен секциями электрообмоток, в которых вырабатывался постоянный электрический ток индивидуально для трех гребных электродвигателей: двух бортовых по 9800 л.с. и одного центрального мощностью 19600 л.с. Двигатели вращали 3 винта.

АППУ располагалась в средней части судна в так называемом центральном отсеке (ЦО). В направлениях в нос и в корму от него находились соответственно носовое и кормовое машинные отделения. В каждом из них помещалось по 2 ГТГ, по одной электростанции, по одному помещению турбопитательных насосов и так далее. Носовая электростанция имела 3 вспомогательных турбогенератора

(ВТГ) мощностью 1000 кВт каждый, кормовая — 2 ВТГ и 1 дизель-генератор. Независимый аварийный источник электроэнергии (автоматизированные по пуску 2 дизель-генератора с воздушным охлаждением) располагался в отдельном помещении на два яруса выше верхней палубы.

Нормальным рабочим режимом была одновременная работа двух электростанций. Отказ одной из них являлся сигналом к пуску аварийных дизель-генераторов и резервного генератора.

Атомная энергетическая установка (АЭУ) ледокола имела следующие основные (спецификационные) характеристики:

Активная зона ядерного реактора — цилиндрическая. Она составлена из пучков стержневых твэлов, заключенных в трубы — технологические каналы. Запас топлива в реакторе достаточен для работы на полной мощности (кампания) в течение 200 сут. Как показал опыт, перезарядку реакторов топливом потребовалось производить 1 раз в 3 года. Необычно большой для того времени энергозапас активной зоны реактора (около 430000 МВт-ч) приводил к наличию в ней урана, превышающего по массе несколько критических масс. Полная, необходимая для обеспечения работы реактора избыточная реактивность составляла в свежей активной зоне 20-25%. Если ее компенсировать только подвижными органами регулирования, то в активной зоне неизбежны большие неравномерности энерговыделения. С намерением уйти от них сначала был рассмотрен вариант с догрузкой реактора топливом через специальные отверстия в крышке реактора непосредственно во время плавления ледокола. Но разгерметизация реактора в море была мало оправданным ядерно-опасным мероприятием. От него надо было отказаться. Выход из затруднительного положения подсказал А.П. Александров. Он предложил компенсировать реактивность выгорающим поглотителем — бором с сечением поглощения тепловых нейтронов в несколько раз большим, чем у делящегося изотопа ^{235}U . Физические расчеты, выполненные Н.М. Мордвиновым, привели в конечном счете к варианту активной зоны, в котором практически весь начальный запас реактивности на выгорание урана (14%) компенсировался бором.

Неравномерности энерговыделения были проблемными не только для решения задачи относительно активной зоны в целом, но и для технологических каналов. В них, содержащих 36 стержневых твэлов, центральные элементы со сниженным энерговыделением имели меньшее тепловое удлинение, чем периферийные. Различие тепловыделений внутри канала от центра к краю

достигало двукратного значения. Стержни следовало развязать друг от друга. Это было сделано путем закрепления всех их лишь сверху. Во избежание воздействия друг на друга соседних твэлов применили специальные пружинные дистанционирующие решетки. Они состояли из двух колец: гладкого и гофрированного. Первое удерживало от соприкосновения друг с другом концентрические ряды твэлов, второе разделяло друг от друга твэлы одного ряда. Кольца располагались по высоте через интервалы 200 мм и крепились с помощью радиальных пластин, приваренных в свою очередь к центральной трубке канала, занимающей место удаленного центрального твэла. В те годы американские специалисты, посетившие физико-технический реактор в ИАЭ, проявили интерес к такому способу дистанционирования твэлов. Позже он был применен на многих АЭС.

Принципиально новым было решение по ГЦН первых контуров ядерных реакторов. Насосы были горизонтальными, и их роторы работали во взвешенном состоянии под напором воды, создаваемым самими насосами. К сожалению, пуск насосов происходил с усилием, истирающим подшипники. В состав их материалов входил кобальт. Он вместе с продуктами износа переносился по всему первому контуру водой и активировался нейтронами в реакторе. Затем происходило накопление осадков радиоактивного кобальта в застойных участках, таких, как импульсные трубки, нижние части емкостей компенсаторов, дренажные трубопроводы. Здесь образовывались сосредоточенные источники повышенного γ -излучения, которые пришлось экранировать дополнительной защитой из листов свинца.

У горизонтальных насосов оказалась неприятной еще одна особенность. Ротор неработающего насоса в разогретом первом контуре приобретал прогиб вследствие расслоения по температуре охлаждающей его воды. Нижняя часть ротора оказалась более холодной, чем верхняя. Оперативный запуск насоса нередко срывался, требовался специальный прогрев ротора.

В целом горизонтальное положение ротора ГЦН не оправдало надежд. Сложна была замена насосов в затесненных условиях в ЦО. В результате циркуляционные насосы с горизонтальными роторами нигде больше не применялись.

В насосах для АППУ ледокола впервые были применены прочно-плотные корпуса, не теряющие герметичности при прорыве обечайки, отделяющей ротор от статора. Найденное здесь решение стало обычным в последующих разработках.

Прямоточные парогенераторы АППУ ледокола были выполнены в виде более крупных блоков, чем на лодках. Но чтобы не допустить существенного уменьшения поверхностей теплообмена при отключении какого-либо из парогенераторов (ПГ) вследствие появления в нем негерметичных трубок, в каждом ПГ было предусмотрено 10 секций с выводом коллектора каждой секции за пределы корпуса. Имелось намерение использовать эти коллекторы для отключения негерметичных секций путем глушения их. Но на практике выявление негерметичной секции оказалось весьма проблематичным мероприятием. Потеря герметичности трубок все же была. Она носила не единичный характер, а общий — коррозионное растрескивание нержавеющей стали в присутствии кислорода и хлора. При таких обстоятельствах способом ремонта могла быть только замена ПГ целиком, что и производилось.

Принятая в АППУ ледокола паровая компенсация изменения объема в первом контуре также была новым решением. По своей сути она обеспечивает более плавное (или более «мягкое») изменение давления в первом контуре при изменении температуры первичного теплоносителя по сравнению с газовой системой компенсации давления. Снижается амплитуда колебания давления в первом контуре. В паровых объемах компенсаторов были предусмотрены разбрызгиватели воды, поступающей из реактора. За счет них достигалась стабилизация давления и даже снижение (а не повышение) его при быстром увеличении температуры теплоносителя. Это было весьма важным, так как первый контур не имел предохранительного клапана.

По сравнению с газовой паровая система компенсации требует большего времени для подъема давления в первом контуре в процессе разогрева реакторной установки. Необходимы высоконадежные электронагреватели с системой автоматического управления их нагрузкой. В варианте паровой системы компенсации можно применять лишь нейтральный водно-химический режим в первом контуре. В дальнейшем были выявлены преимущества аммиачного водного режима. Это и практические осложнения в обеспечении нормальной работы электронагревателей паровых компенсаторов склонили к переходу в АППУ новых ледоколов на газовую систему компенсации давления с азотом.

«Обвязка» основного оборудования первого контура соединительными трубопроводами оказалась не простой из-за решения вопросов с компенсацией их температурных расширений. Неизбежно большими по протяженности стали прямые участки труб с двойной

отсечной арматурой на каждой из независимых петель реактора. Они в первую очередь и усложняли задачу с температурной компенсацией и привели в результате долгих поисков к варианту с отводом воды из реактора в верхней части его корпуса по двум трубопроводам двух петель и с возвратом ее в реактор единой трубой через днище. Две петли объединялись одной входной трубой под днищем реактора. Схемы компоновки первых контуров реакторов ледокола и конструкции реакторов оказались в конечном счете оригинальными в сравнении с таковыми для АППУ атомных лодок.

В каждой группе аварийной защиты было по 4 стержня, а в каждой группе АР — по 2 стержня. Три реактора имели общими: контур с дистиллятом для охлаждения оборудования и биологической защиты (3-й контур), контур заборной воды для отвода тепла от 3-го контура, систему отбора проб воды из первого контура и дренажа первичного теплоносителя в емкость временного хранения жидких радиоактивных отходов.

Разработка реактора, его активной зоны, компоновки оборудования АППУ вместе с биологической защитой от ионизирующих излучений производилась в постоянном тесном взаимодействии специалистов КБ завода № 92 и сотрудников ИАЭ. В те отдаленные годы (1953—1956) в КБ еще не было физиков, подготовленных к выполнению нейтронно-физических расчетов активных зон и расчетов по биологической защите от ионизирующих излучений. Все расчеты по обоснованию физических характеристик активных зон, расчеты с определением тепловыделений в конструкциях реактора в активной зоне, в боковых экранах, в стенках корпуса реактора и в первых слоях биологической защиты, а также все расчеты по защите с выявлением всех источников излучений и подбором наиболее благоприятных защитных композиций выполнялись специалистами ИАЭ. Лишь постепенно КБ завода №92 пополнялось молодыми специалистами-физиками, которые проходили стажировку в ИАЭ и осваивали нейтронно-физические расчеты и расчеты защиты от излучений. По мере перехода от эскизного проекта АППУ (1953-1954 годы) к техническому (1954—1955 годы) здесь круг лиц, привлекаемых к работам, все расширялся.

Методическое руководство в нейтронно-физических расчетах осуществлял Г.А. Бать. Конкретные положения уточнялись Л.С. Цыганковым, А.Н. Проценко. Непосредственным основным исполнителем расчетов был Н.М. Мордвинов. Ему оказывали помощь группы математиков под руководством Г.В. Мухиной и В.А.Ходакова.

Расчеты критической массы, полей энерговыделения, эффективностей поглотителей нейтронов требовали экспериментальной проверки. Экспериментальная отработка физики реакторов производилась под руководством Н.А. Лазукова с активным участием А.И. Докучаева, В.П. Иванова, И.Е. Челнокова, Л.А. Комиссарова, А.Ф. Зайцева, Е.Д. Аликина и других физиков-экспериментаторов.

Физика активной зоны оказалась довольно сложной. Впервые появились выгорающие поглотители. Да еще и не были известны с достаточной степенью точности ядерно-физические константы материалов, входящих в состав активной зоны. Не было строгой теории замедления нейтронов, учитывающей гетерогенность системы, термализацию нейтронов на связанных атомах водорода воды. В расчетах использовалась аппроксимационная методика, основанная на внесении в обычную классическую модель для расчетов эмпирических поправок, вытекающих из большого числа опытов с критическими массами. Программы подстраивались под конкретные задачи.

Для расчетов были разработаны две одномерные программы: радиальная и высотная. Результаты расчетов критмасс оказывались неизменно более низкими, чем определяемые в эксперименте. Тогда И.В. Курчатова назначил экспертов: С.М.Фейнберга, Е.П.Кунегина, И.И.Гуревича, В.И.Мостового. Однако крупных ошибок в определении критмасс не было выявлено.

В то время стали появляться быстродействующие электронные счетные машины типа БЭСМ. Основные расчеты физики реактора были выполнены на них.

С самого начала активная зона реактора имела высоту большую (1200 мм), чем диаметр (1000 мм). Такая с точки зрения физики неоптимальность была вызвана трудностями, с которыми столкнулась промышленность при изготовлении корпуса реактора большого диаметра. Теплопередающие поверхности пришлось развивать в высоту, чтобы обеспечить съем мощности с необходимым запасом до критических тепловых нагрузок. Проект активной зоны разрабатывался на основе ТВЭ в стальных оболочках. Но уже на стадии технического проекта материалы активной зоны были изменены.

Для оболочек твэлов и кожуховых труб топливных сборок с твэлами было решено применить коррозионно-стойкий сплав циркония с 1% ниобия (сплав Э110), который был создан к тому времени в ВИАМ под руководством Р.С.Амбарцумяна. Промышленность также уже освоила выпуск из этого сплава труб. Применение

циркониевого сплава в активной зоне вместо стали снижало загрузку ^{235}U примерно в 1,5 раза. Позднее циркониевые оболочки нашли широкое применение в АЭС.

Пришлось считаться с тем, что коррозионная стойкость сплава Э110 все же ниже стойкости нержавеющей стали и она заметно снижается при повышении температуры. Поэтому было решено дополнительно снизить температуру поверхности оболочек твэлов за счет еще большего развития поверхности теплопередачи. В связи с этим высота активной зоны была увеличена до 1600 мм.

24 августа 1956 года состоялась закладка атомного ледокола на стапеле Адмиралтейского завода в Ленинграде. 5 декабря 1957 года ледокол, получивший имя «Ленин», был спущен на воду и доставлялся далее на воде у стенки завода.

К середине 1958 года на Электростальском машиностроительном заводе был изготовлен первый комплект технологических каналов (ТК) активной зоны для реактора ледокола. Комплект был направлен в Горький, и на нем в цехе завода № 92 выполнялись критические эксперименты. Корпус реактора и окружающая активную зону экранная сборка были штатными. Экспериментами руководил Н.А.Лазуков. Целью экспериментов было определение исходной избыточной реактивности активной зоны, эффективности органов регулирования и распределения в объеме зоны полей нейтронов.

Исследование полей нейтронов по высоте активной зоны показало, что погружение КР в нижнюю часть активной зоны приводит к опрокидыванию нейтронного поля. Чтобы ликвидировать этот недопустимый эффект, было решено в нижней части активной зоны разместить неподвижную дополнительную компенсирующую решетку (ДКР) — набор листов стали в пространстве между технологическими каналами с общей высотой около 250 мм. Конечно, в связи с этим несколько ухудшилось использование ядерного топлива, но это был лучший выход из создавшегося затруднительного положения. Увеличение высоты подвижной КР привело бы к тому, что в крайнем верхнем положении решетка не выходила бы из активной зоны и экранировала бы топливо в верхней части активной зоны. Кроме того, увеличение массы подвижной КР потребовало бы замены двигателя, перемещающего КР, более мощным.

Загрузить в реактор все ТК не удалось — эффективность органов регулирования оказалась недостаточной для компенсации избыточной реактивности. Впервые за все время разработки активных зон транспортных реакторов требуемая величина загрузки урана

оказалась ниже расчетной. Было решено снизить загрузку ^{235}U с 85 до 80 кг за счет уменьшения средней величины обогащения урана. Это удалось выполнить без переделки изготовленных твэлов.

Разборная конструкция канала и креплений твэлов внутри него позволила произвести перекомплектацию зоны в короткие сроки. Тепловыделяющие элементы первой активной зоны были равномерно распределены в трех комплектах ТК для трех реакторов ледокола. Одновременно с этим было осуществлено профилирование энерговыделения топливом и в пределах большой группы ТК. Твэлы с более высоким обогащением урана размещались в центральных рядах внутри каналов. Обогащение топлива в наружных рядах в ТК было снижено до 3,6%. Профилированные каналы были размещены в центре реактора, где тепловые нагрузки были наибольшими. Выгорающий бор введен в состав кожуховых труб ТК. Причем в кожухах центральных каналов содержалось повышенное количество бора. Все вместе позволило получить коэффициент неравномерности энерговыделения по радиусу активной зоны реактора около 1,28. Это считалось сравнительно хорошим результатом выравнивания энерговыделения.

Активные зоны реакторов ледокола имели средние величины энергонапряженности 75 кВт/л и среднее выгорание топлива 14000 МВт-сут на 1 т урана. Топливом служила спеченная двуокись урана в виде набора таблеток в цилиндрических оболочках наружным диаметром 6,1 мм. Толщина оболочек твэлов составляла 0,75 мм. Твэлы прошли ресурсные испытания в петлях исследовательского реактора в ИАЭ. В отработку их и проверку в рабочих условиях внесли большой вклад В.В.Гончаров, Г.Н.Кружилин и И.П.Фролов-Домнин.

Сравнительно высокая энергонапряженность активной зоны требовала весьма внимательного отношения к теплогидравлике. Повышенное давление (первоначально 20 МПа) и температура воды (325 °С) были выбраны с целью повышения коэффициента полезного действия энергоустановки и уменьшения ее размеров. Вскоре было выяснено, что повышение давления воды до значений, близких к критической точке, не способствовало повышению запаса до кризиса теплопередачи. В связи с этим давление первичного теплоносителя было понижено до 18 МПа.

Теплофизика активных зон в ИАЭ была в ведении А.Е.Савушкина. Его ближайшим помощником стал Г.Н. Полетаев. Впервые было обращено внимание на значительное влияние в теплообмене неблагоприятного сложения допусков в изготовлении конструкций и

отклонения теплотехнических параметров от их спецификационных значений. А.Е.Савушкиным была разработана система так называемых механических коэффициентов, требующих обязательного учета их неблагоприятного сочетания в тепловом расчете активной зоны.

В конструкции топливной сборки (ТК) теплообмен связан с величинами зазоров между соседними твэлами, с диаметрами твэлов, с неравномерностями в концентрации урана по высоте тепловыделяющего элемента. В теплотехнических параметрах важно учитывать неизбежные колебания величин расходов воды в ТК, температур и давления воды. Следовало принимать во внимание радиальное изменение в сечении ТК энерговыделения и скоростей потоков теплоносителя. Необходимо было считаться с точностью формул, по которым рассчитывались коэффициенты теплопередачи и критическая тепловая нагрузка, и с точностью измерительных приборов в измерении температур, давления, расходов теплоносителя.

Возникали иногда курьезы. Консервативное сложение всех отклонений параметров только в неблагоприятном направлении приводило к тому, что активная зона приобретала солидные запасы по критическим тепловым нагрузкам. Заботами конструкторов они увеличивались еще больше — вносились поправки на возможные ошибки в расчете гидравлических сопротивлений первого контура. Так, итогом расчетов с запасами стал фактический расход воды в первом контуре на 20% более высокий, чем это было получено расчетом в проектных материалах. Выяснилось это только во время проведения обкатки ГЦН в конце 1958 года на холодной воде непосредственно в первых контурах реакторных установок на ледоколе. В итоге возникли затруднения с пуском ГЦН в холодном состоянии из-за превышения допустимой мощности их электродвигателей. Положение исправили введением дополнительных сопротивлений в первых контурах постановкой дроссельных шайб, уменьшающих расход воды. Шайбы были установлены в выходных патрубках реактора, хотя более благоприятным было бы размещение их во входном патрубке. К сожалению, доступ к нему был более сложным по объему необходимых демонтажно-монтажных работ.

Запасы в теплотехнических расчетах позволили исключить параллельную работу двух ГЦН в одной петле. Оказалось достаточным работы одного насоса.

Много забот вызвал анализ нестационарных тепловых процессов, связанных с остановкой и переключением ГЦН. Следовало принимать во внимание возможность выхода из строя обеих электростанций ледокола. В этом случае надо было облегчить переход

с принудительной циркуляции на естественную. С учетом этого было предусмотрено движение воды в активной зоне только снизу вверх (как внутри ТК, так и вне каналов). Опускные участки были расположены вне зоны, в межэкранном пространстве. Этим исключалось опрокидывание циркуляции воды при остановке насосов.

Чувствительные элементы температурных датчиков имеют вполне определенные по величине постоянные времени, за счет которых во время нестационарных процессов происходит запаздывание в выдаче информации по значениям температур. Необходимо было своевременно выявить масштаб такого запаздывания и при необходимости внести в алгоритмы управления соответствующую корректировку. Для определения постоянных времени термопар и термометров сопротивления в ИАЭ был сооружен специальный стенд. На основе полученных результатов испытаний на стенде из системы аварийной защиты были исключены термометры сопротивления, хотя они выдавали информацию с более высокой степенью точности, чем термопары. Постоянная времени термометров сопротивления 8 с вызывала недопустимо большую задержку срабатывания аварийной защиты в случае быстрого увеличения температуры воды на выходе из активной зоны. Система возможной коррекции сигнала усложняла схему защиты и тем самым понижала надежность срабатывания ее. В защите были использованы термопары с постоянной времени около 1 с.

Учет поправок в динамике процессов на запаздывание сигналов выявил в процессе подключения неработавшей петли к реактору вдвое большее изменение температур на входе в реактор, чем это показали приборы. Специально предусмотренный прогрев петли за счет небольшого протока горячей воды работающего реактора через отверстия в обратных клапанах насосов оказался меньше ожидаемого. К счастью, заброс в активную зону охлажденной воды из подключаемой петли не приводил к возрастанию мощности реактора выше допустимого значения и остановка реактора по аварийному сигналу о превышении мощности при подключении петли не происходила.

Большого внимания требовало изучение характеристик уникального по тому времени прямоточного парогенератора. Главным конструктором его был Г.А.Гасанов. На стенде руководимого им СКБК в Ленинграде производились всесторонние испытания ПГ. Непосредственным участником их от ИАЭ был Г.Н.Полетаев. Необходимо было убедиться в устойчивой работе ПГ не только на всех стационарных режимах, но и на быстропеременных. Проверялся и заброс

холодной воды на разогретые поверхности трубной системы парогенератора. ПГ выдерживал такой режим. Полетаевым выполнялись расчеты ожидаемых изменений температур в первом контуре вследствие быстрых нормальных и аварийных изменений расхода питательной воды в ПГ.

Не оставлены были без внимания и локальные режимы теплообмена. Беспокоили затесненные места в районе касания твэлов с дистанционирующими кольцами. Но осмотр топливных сборок, прошедших испытания на мощности в экспериментальной петле исследовательского реактора, не выявил признаков локального перегрева оболочек твэлов в местах с затеснениями проходных сечений для прохода воды. Очевидно, проявилась положительная роль дистанционирующих элементов как турбулизаторов потока теплоносителя и своего рода оребрения.

Неожиданно приятный оборот приняло назначение исходных предельно возможных значений давления и температуры первичного теплоносителя. Таким решением были сняты проблемы с освоением оборудования для последующих проектов. В них давление только снижалось и можно было использовать в новых проектах уже отработанную готовую арматуру и некоторые виды оборудования. На атомных электростанциях начинали с низких давлений, а затем переходили на более высокие и все время решали вновь и вновь проблему с созданием арматуры на новые параметры.

Как выше отмечено, в управлении ядерными реакторами была реализована концепция нескольких взаимно несвязанных органов управления реактивностью. В ней можно говорить об уязвимости в части КР, которая имела наибольшую эффективность и была способна компенсировать все составляющие реактивности. С учетом этого в реакторах ледокола были предусмотрены все меры по повышению надежности работы КР и обеспечения безопасности в случае ее отказа. Для перемещения КР использован простейший асинхронный двигатель; в случае его неисправности была предусмотрена возможность опускания КР специальным устройством вручную. Подшипники, обеспечивающие скольжение перемещающейся КР, вынесены на периферию, где воздействие нейтронов на них относительно невелико. С целью предотвращения аварийного несанкционированного перемещения КР вверх было предусмотрено на пульте реактора прямое (рубильником) отключение электропитания двигателя решетки. При механическом заклинивании КР в реактор мог быть введен раствор жидкого поглотителя нейтронов. Скорость перемещения КР была малой — 0,75 мм в с.

Вверх она могла перемещаться лишь шагами величиной около 4 мм и каждый новый шаг должен инициироваться оператором.

За все время существования атомного флота не возникало ситуаций, приводящих к необходимости ввода в реактор жидкого поглотителя. Однако отказ КР — это отказ реактора. Поэтому в реакторах второго поколения отмеченный недостаток был устранен расчленением КР на несколько частей (именуемых компенсирующими группами) с независимыми друг от друга электроприводами.

Удлиненная активная зона имела положительное свойство в том отношении, что позволяла снизить запас реактивности на нестационарное отравление ксеноном («йодную яму»). Снижение реактивности за счет ксенона компенсировалось подъемом КР в более высокое положение, при котором вступала в действие та часть топлива, которая ранее экранировалась КР.

В ядерных реакторах ледокола была сравнительно большая разность температур воды между выходом и входом — 78 °С. Это влекло за собой необходимость повышения эффективности стержней аварийной защиты. Она должна, по крайней мере, перекрывать высвобождение реактивности при снижении средней рабочей эффективной температуры воды в активной зоне до значения температуры на входе в реактор. Изменение температуры в таком диапазоне может происходить при резком снижении мощности реактора. С целью повышения эффективности аварийной защиты были предприняты меры по размещению в реакторе максимально возможного числа стержней защиты. В результате удалось довести общее число стержней до 24 и обеспечить их погружение в активную зону в областях с повышенными плотностями потоков нейтронов. Общая эффективность стержней защиты превысила 2%, что было вполне достаточным.

В процессе разработки проекта активной зоны изыскивались различные возможности снижения ожидаемых изменений реактивности. Рассматривалось, например, регулирование расхода воды в межканальном пространстве с объемом воды, превышающим примерно в 2 раза объем воды внутри ТК. Энерговыведение в межканальном пространстве за счет замедления нейтронов и поглощения γ -квантов достигало почти 3%. Изменение расхода воды в этом пространстве за счет увеличения или уменьшения отверстий для входа воды через нижнюю плиту реактора позволяло варьировать здесь температуру в широком интервале от входной до выходной температур в реакторе. Так, увеличивая расход воды в межканальном пространстве до 20—30% от общего расхода, можно было бы

снизить эффективную температуру замедлителя примерно на 25 °С и тем значительно уменьшить возрастание реактивности при резком понижении мощности реактора. Но на столько же процентов снижались расход и скорость воды внутри канала. Поэтому остановились на величине расхода воды в межканальном пространстве около 10%.

Поскольку для атомного судна главным в первую очередь является обеспечение безопасности самого судна, то было важно свети до минимума остановки ядерных реакторов и потери хода из-за срабатывания аварийной защиты — проектного или ложного. Приобретала особую важность процедура тщательного отбора и обоснования сигналов, по которым следовало предусматривать срабатывание защиты. Расчеты позволили выявить, что по ряду сигналов, ранее относимых к аварийным, можно ограничиться снижением мощности, то есть вместо сигналов защиты 1-го рода со сбросом стержней защиты воспользоваться сигналами 2-го рода, сопровождающимися снижением мощности до снятия сигнала при опускании вниз АР и КР. Происшедшее снижение мощности представлялось возможным впоследствии весьма быстро восстанавливать.

Удалось уменьшить и число ложных срабатываний защиты. При переключении электропитания с одного источника на другой автоматические переключатели сети (АПС) создавали перерыв питания около 0,1 с. Это уже вызывало сброс стержней защиты. Чтобы избежать такого явления был введен «самоподхват» стержней в их промежуточном положении в момент восстановления электропитания. Возникающее снижение мощности в такой ситуации нетрудно ликвидировать. Все же позже от самоподхвата стержней отказались из-за утраты контроля положения стержней внутри активной зоны. Затем отпала и нужда в самоподхвате, так как АПС заменили на полупроводниковые вентили, практически не создающие перерыва в электропитании при переключении его с одного источника на другой. Вопросы отработки системы управления и защиты были в ведении Е. Ф. Ефимова.

Значительно отличается от принятой на атомных подводных лодках и биологическая защита АППУ ледокола. Это связано с рядом иных требований, предъявляемых к защите от ионизирующих излучений на ледоколе. Здесь был приоритет в экономических показателях, в связи с которыми сводилось к минимуму использование дорогих материалов, таких, как свинец. Кроме того, на ледоколе было необходимо обеспечить более низкие за защитой уровни излучений в направлениях бортов и днища судна. Они должны были

обеспечивать совершенно свободную пришвартовку к ледоколу любых транспортных судов. Возможная для лодок теневая защита на ледоколе исключалась.

Ограничения по массе на ледоколе были меньшими, но все же было необходимо избегать больших сосредоточенных нагрузок, серьезно и неблагоприятно влияющих на конструктивные решения по ледоколу в целом.

Атомная установка ледокола должна быть защищена усиленным силовым набором от повреждений при бортовых ударах других судов в аварийных столкновениях с ними. Биологическая защита строилась с учетом возможного дополнения противоударных бортовых барьеров. Именно это проявилось в построении вторичной биологической защиты — защиты от излучений из первичного теплоносителя. Вторичная защита представляет собой стены своеобразной цитадели, составленные из стальных плит с толщинами от 310 до 420 мм. Это было своего рода бронированием реакторного отсека. Повышенные значения сечений неупругого рассеяния нейтронов с энергиями более 1,5 МэВ на ядрах железа и никеля и высокая замедляющая способность воды для нейтронов меньших энергий подсказали удачный состав основы первичной защиты в виде металловодной композиции из стали и воды. Конструктивно это было выполнено так: реакторы опущены в бак с водой, в котором с определенной закономерностью помещены листы нержавеющей стали. За толстым листом стали в воде всегда появляется всплеск плотности тепловых нейтронов и во избежание рождения жестких захватных γ -квантов за счет поглощения нейтронов в железе очередной лист стали должен быть отодвинут на две-три длины диффузии нейтрона в воде. Особенно большой всплеск нейтронов появляется в баке с водой защиты за боковыми стенками корпуса реактора. В нем размещены ионизационные камеры, используемые в системе контроля нейтронной мощности реактора. При этом в проекте весьма ответственным было надежное определение в воде за корпусом реакторами абсолютной величины плотности потока нейтронов. Эта задача была успешно решена, хотя и использовались весьма упрощенные методы расчетов.

Оборудование первого контура, такое, как нижние части емкостей с водой системы компенсации давления и целиком парогенераторы, с точки зрения защиты являются хорошей железобетонной композицией, напрашивающейся быть встроенной в защиту в качестве ее составной части. Именно так и было сделано с выигрышем в общих габаритах и массе защиты.

Выход труб из реактора в его верхней части мешал продлению защиты с баком до верха реактора. Вверху надо было найти хороший эквивалент баку. Им стал массив из термостойкого лимонитового бетона с повышенным содержанием кристаллизационной воды.

Биологическая защита нужна была и над крышкой реактора. Здесь были довольно высокие температуры и наиболее возмущенное пространство проходкой конструкций приводов АР, КР, аварийной защиты. Для защиты над крышкой было решено применить карборит — графит, спрессованный с бором. В отличие от других направление вверх в защите оказалось не достаточно проработанным. Испытания на мощности на ледоколе показали, что между механизмами системы управления и защиты имеются узкие пучки нейтронов и γ -квантов с интенсивностями больше расчетных в 20-40 раз по нейтронам и в 5-7 раз по γ -квантам. Положение было исправлено размещением между механизмами СУЗ еще 600 мм карборита в виде фигурных блоков. Для других направлений защиты расхождения между результатами расчетов и непосредственных измерений не превосходили в основном коэффициента 2, допустимого для расчетов защитных экранов от излучений. Конечно, большую неопределенность вносили монтажные щели в конструкциях защиты и неоднородности, порождающие каналы-нейтроноводы.

Расчеты защиты базировались на использовании простейших экспоненциальных зависимостей ослабления излучений в защитных барьерах. Необходимые для них длины релаксации были заимствованы как из общих литературных источников, так и из результатов экспериментальных исследований, специально выполненных в ИАЭ и ФЭИ. В ИАЭ это исследования, проведенные под руководством и с непосредственным участием В.Г. Мадеева и Е.Н. Королева. В ФЭИ большой объем исследований по защите транспортных реакторов был выполнен С.Г. Цыпиным, Д.Л. Бродером и В.И. Кухтевичем.

Непосредственным разработчиком композиционных решений по защите и основным расчетчиком ее был Б.Г. Пологих. Им же производились расчеты активации теплоносителя. Описание конструкций защиты, методика расчета ее и результаты испытаний вошли в состав третьего тома инженерного справочника по защите, вышедшего в свет в 1970 году. В справочнике отмечается, что отношение массы защиты на ледоколе к мощности реакторов составляет 7,4 кг/кВт.

Вопросы защиты от излучений непосредственно смыкаются с проблемами локализации и контроля радиоактивных нуклидов — организацией автономной вентиляции, санпропускного режима,

приема и временного хранения радиоактивных отходов и дозиметрии. В этих вопросах решения выработывались в тесном творческом контакте с Институтом биофизики Министерства здравоохранения и со СНИИПом. В ИАЭ ведущим специалистом разработок был Ю.В.Сивинцев.

В системах обеспечения радиационного технологического и дозиметрического контроля принимались решения, во многом заимствованные из того, что уже было сделано применительно к атомным подводным лодкам.

Центральный отсек со всем оборудованием АППУ имел водо- и газонепроницаемые переборки и независимую от всех прочих систем на ледоколе собственную систему вентиляции с выбросом воздуха через грот-мачту на высоте около 20 м над верхней палубой.

Внутри ЦО имелся целый ряд помещений с различной степенью потенциальной опасности загрязнения радиоактивными веществами. Система спецвентиляции поддерживала величины относительных разрежений в помещениях, прямо пропорциональные этим степеням опасности. Так, внутри помещений ПГ с трубопроводами и оборудованием первого контура (между первичной и вторичной защитами), где потенциально возможны утечки воды непосредственно из первого контура, разрежение было наибольшим (40 мм вод. ст.), а в смежных помещениях с ГЦН (вне вторичной защиты) несколько меньше и так далее. В результате потоки воздуха следовали извне вовнутрь — в объемы с потенциально возможной большей загрязненностью.

На первых порах был предусмотрен контроль герметичности фланцевых соединений в помещениях ПГ с помощью влагосигнализаторов, работающих на принципе повышения электропроводности детектирующего материала от увлажнения его водой протечек. Но от такого способа пришлось отказаться в связи с постепенной аккумуляцией влаги детекторами и перехода их в состояние постоянной высокой проводимости с ложной сигнализацией о появлении течи. Взамен него были внедрены датчики радиационного технологического контроля (РТК), информирующие об уровнях загрязненности радионуклидами воздуха.

Кроме непосредственной утечки воды первого контура в помещение, относительно опасной может быть течь из первого контура во второй вследствие разгерметизации трубки внутри ПГ. Факт появления такой течи обнаруживается с помощью детектора радиоактивности паровоздушной смеси за эжектором конденсатора турбины. Это высокочувствительный контроль, но обобщенный,

представляющий информацию о факте, но не о месте. Надо еще знать, какой именно ПГ имеет негерметичность. Для получения ответа на этот вопрос были размещены детекторы излучений внутри каждого из паропроводов за ПГ. К сожалению, примененные здесь β - γ -счетчики быстро выходили из строя из-за неблагоприятного для них сочетания вибрации и температуры. Пришлось перейти на регистрацию γ -излучений на поверхностях паропроводов с потерей чувствительности контроля. В случае протечек с расходами больше 100 кг/ч приборы на паропроводах были способны выдавать аварийную сигнализацию. При течах меньшего масштаба по полученной предупреждающей информации от детекторов за эжекторами (чувствительность до 1 кг/ч) надо было отбирать пробы среды за каждым ПГ и сравнивать величины радиоактивности конденсата пара из этих проб. Лишь после этого можно было принимать решение об отключении того или иного парогенератора. Правда, невольное промедление при малых течах не грозило опасной загрязненностью второго контура из-за малости протечки и наличия ионообменных фильтров питательной воды второго контура на полный расход.

На этапе, когда уже начались швартовные испытания оборудования АППУ на холодной воде (в 1958 году) возникла неприятная ситуация, связанная с выявлением присутствия больших количеств хлора в совелитовой теплоизоляции труб первого контура. Хлор в теплоизоляции создает потенциальную опасность межкристаллитного коррозионного растрескивания нержавеющей труб. Изоляцию нужно было срочно удалять, но сделать это было весьма сложно. Изоляцией защищался от чрезмерного перегрева монолит лимонитового бетона. Трубы в бетоне проходили в дугообразных каналах, обеспечивающих компенсацию температурных расширений самих труб и снижающих эффект прямого прохождения через защиту ионизирующих излучений. Кривизна каналов с теплоизоляцией в их кольцевых зазорах осложняла демонтаж совелита без разборки бетона. Здесь следует заметить, что во всех последующих проектах АППУ уже не допускалась оплошность с бетоном. Он комплектовался в защитных барьерах разборными блоками в стальной облицовке.

Конечно, до дробления бетонного массива на ледоколе дело не было доведено. А.П.Александров, И.И. Африкантов, обсудив проблему с директором Адмиралтейского завода Б.Е.Клопотовым, пригласили опытных монтажников, обрисовали им задачу и предложили премию в виде 5000 руб. каждому участнику будущей работы.

Специалисты соорудили крючья с подвижными звеньями и за трое суток извлекли из бетона совелитовую теплоизоляцию.

Процесс строительства атомного ледокола проходил на Адмиралтейском заводе в быстром темпе. Завод имел огромный опыт судостроения. Большую роль в обеспечении успешного хода работ по строительству сыграли Ленинградский совнархоз (С.А. Афанасьев) и обком партии (Ф.Р. Козлов). Они провели ряд заседаний с решением вопросов непосредственно на заводе. По указанию совнархоза на завод были направлены квалифицированные специалисты с крупнейших заводов Ленинграда. Директор завода Б.Е. Клопотов и главный строитель ледокола В.И. Червяков использовали все возможное, чтобы выполнить работы в наиболее короткие сроки. На ледоколе трудились в порядке прохождения трудовой практики даже студенты Кораблестроительного института. От закладки ледокола на стапеле (24 августа 1956 года) до спуска его на воду (5 декабря 1957 года) прошло всего 15,4 месяца.

Осенью 1958 года состоялась Вторая Женевская конференция по использованию атомной энергии в мирных целях. На нее был представлен доклад по ледоколу «Ленин», изобилующий судовыми терминами. Он был обсужден на межведомственном научном совете, который проводил И.В. Курчатов. В связи с отсутствием на совете А.П. Александрова, находившегося на испытаниях первой атомной подводной лодки, Игорь Васильевич спросил академиком Н.А. Доллежала и А.И. Алиханова, что такое «теплый ящик». Произошел конфуз. Николай Антонович ответил, что он о таком слышит первый раз, а Абрам Исаакович добавил: «Убейте меня на месте — не знаю». Игорь Васильевич резюмировал: «И я тоже не знаю. Что такое сыграть в ящик — известно. А теплый ящик — что-то непонятное. Доклад надо полностью переделать. Он должен быть ясен всем, даже академикам. Его надо снабдить фотографиями, чтобы было видно — идет постройка, а не одни разговоры».

В те времена, соблюдая режим секретности, на Адмиралтейском заводе разрешили фотографировать на ледоколе все, кроме лиц людей. Человек очень подходил для определения масштаба оборудования, и поэтому он неизменно присутствовал на фотографиях, но с видом на спину.

Кроме основного доклада, был представлен на конференцию второй доклад «Система радиационной безопасности ледокола» и в выставочном зале был размещен макет атомного ледокола.

Доклады по ледоколу, наряду с докладом о работе первой в мире атомной электростанции в Обнинске, привлекли большое внимание.

Строительству ледокола уделялось большое внимание и осуществлялось оно высокими темпами. Первая половина 1958 года ознаменовалась полным завершением монтажа атомной установки с обкаткой механизмов на холодной воде. При этом была выявлена значительная вибрация обратных клапанов ГЦН. Она была устранена постановкой специальных упоров. Устранению ее способствовало отмеченное выше уменьшение расхода воды, создаваемого насосом за счет увеличения сопротивления трассы первого контура.

С 20 октября 1958 года швартовые испытания вышли на этап горячих испытаний. К ледоколу был подведен с берега пар. Он подавался через целую систему шарнирно соединенных трубопроводов, решающих проблему с изменением уровня воды в Неве в связи с приливами и отливами. Первыми запустили и испытали в работе пожарные насосы и всю систему пожаротушения. Затем началось испытание турбогенераторов, паровых котлов, дизель-генераторов и прочее.

Все строительство, а затем и испытания ледокола производились под наблюдением группы специалистов заказчика — Министерства Морского Флота, возглавляемой А.Н. Стефановичем. Начиная с 1957 года производился подбор технического состава экипажа ледокола.

В сентябре 1957 года из числа выпускников Ленинградского высшего инженерно-морского училища были отобраны 16 человек, которые прошли специальную практическую и теоретическую подготовку по атомной технике ледокола и всему его энергетическому комплексу. В течение сентября— декабря 1957 года ими был изучен проект ледокола непосредственно на Адмиралтейском заводе. Они участвовали в приемке оборудования и систем ледокола. С декабря 1957 года по май 1958 года они стажировались на первой в мире атомной электростанции в Обнинске. Здесь к ним присоединился относительно великовозрастной стажер (39 лет) из Одессы А.К.Следзюк с большим опытом технической эксплуатации судов различного класса. Изучение курса физики и теории ядерных реакторов было дополнено освоением процесса управления реактором атомной станции, познанием автоматики, электрооборудования и всех важных для работы реактора систем обслуживания. Были изучены и практически освоены инструкции по эксплуатации реактора и станции в целом. В феврале 1958 года после сдачи экзаменов на знание проекта и рабочих инструкций стажеры были допущены к рабочим местам инженеров, управляющих реактором. Через месяц после сдачи дополнительного экзамена они были

допущены к работе старшими инженерами по управлению под наблюдением. Это была работа дублерами в течение одного месяца. После нее вся группа уже подготовленных специалистов вернулась в Ленинград на ледокол. Из них, а также из числа опытных специалистов-реакторщиков с предприятий Министерства среднего машиностроения комплектовалась атомно-механическая служба ледокола. Сначала ее возглавил старший механик А.В. Неупокоев, а затем, когда пришло время работы реакторам на мощности, все заведывание АППУ взял на себя главный инженер установки Н.Р. Гурко. Это было временное решение на первый период освоения моряками атомной техники. Впоследствии функции главного инженера АППУ были переданы главному механику ледокола. Им до начала работы АППУ на мощности был Н.Н. Долгополов, а затем А.К. Следзюк.

На ледоколе с электродвижением было весьма развито электро-механическое оборудование, и поэтому была создана отдельная служба электромеханика под руководством А.Н. Баранова. Наличие развитой автоматизации и большое количество контрольно-измерительных приборов на ледоколе привели к целесообразности организации службы КИПиА. Ее возглавил Ю.В. Кузнецов. Наконец, важность обеспечения контроля и управления радиационной обстановкой на ледоколе побудила создание службы радиационной безопасности. Первым руководителем ее был С.А. Огородников.

Экипаж атомного ледокола возглавил капитан Павел Акимович Пономарев.

После запуска в нашей стране искусственного спутника в 1957 году американцы стали проявлять повышенный интерес к состоянию нашей промышленности. Так, в начале августа 1959 года на Адмиралтейский завод прибыл адмирал Х. Риквер, который хотел составить собственное представление об уровне технологии наших реакторных установок. Проявив изрядную настойчивость, он добился того, чтобы ему показали всю атомную установку ледокола. Он ее инспектировал в течение 2 ч. Его сопровождал А.Н. Стефанович. Впоследствии Риквер писал: «Мне показали все, что я хотел». Особый интерес Риквера к установке объясняется тем, что американцы не исключали возможности применения на ледоколе лодочной установки, чтобы не строить наземный прототип установки ледокола. Риквер отметил хорошую и достойную работу по атомной установке и сказал, что у нас будут трудности по замене парогенераторов. Позднее, выступая в сенатском комитете, он отмечал, что американцы далеко впереди в строительстве кораблей и надо бы форсировать строительство надводного атомного судна

«Саванна», чтобы и здесь опередить нас. «Саванна» была спущена на воду 21 июля 1959 года, и адмирал надеялся, что она выйдет в море раньше ледокола «Ленин».

С начала лета 1959 года все сотрудники ИАЭ, занимавшиеся ледоколом, и большое количество специалистов многих НИИ, ОКБ и предприятий промышленного профиля переселились в Ленинград — пришла пора завершающих проверок и испытаний. На Адмиралтейском заводе была создана Единая служба радиационной безопасности под руководством научного сотрудника Института биофизики А.Д. Туркина. Все наблюдение по вопросам обеспечения радиационной безопасности взяло на себя Третье Главное управление Минздрава. Постоянными представителями этого управления были на заводе В.Н. Правецкий, Ю.Г. Нефедов, И.Д. Камышенко. Была снята карта уровней фоновых излучений в воздухе, воде и на почве внутри города и его окрестностей.

На Адмиралтейском заводе в трюме ремонтируемого крейсера уже давно хранилось ядерное топливо для реакторов ледокола. Пришла пора загрузки его в реакторы. 17 июня состоялась загрузка топлива в реактор № 1. С недельными интервалами то же было завершено и на других двух реакторах. Этой операцией и последующим физическим пуском реакторов с сопутствующими нейтронно-физическими измерениями руководил Н.А. Лазуков со своими помощниками — А.И. Докучаевым, А.Ф. Зайцевым, В.П. Ивановым, Л.А. Комиссаровым и другими.

В начале августа уже можно было приступить к физическому пуску. Ленинградские власти запросили письменное подтверждение о безопасности для Ленинграда как самого пуска, так и последующих испытаний АППУ на мощности. А.П. Александров письменно подтвердил, что ядерного взрыва не произойдет ни при каких обстоятельствах и что предусмотрены все меры обеспечения безопасности.

6 августа состоялся пуск реактора № 1. Измерения физических характеристик этого, а затем и еще двух реакторов подтвердили ожидаемые результаты.

Во всех режимах швартовых испытаний на мощности производилась запись основных физических и теплотехнических параметров на ленты магнитографа, изготовленного в ИАЭ по разработкам А.Е. Савушкина. Именно магнитофонные записи помогли разобраться в сложных переходных режимах по мощности реакторов с параллельными потоками воды в активной зоне: внутри ТК и в межканальном пространстве.

Атомный источник внушал доверие, но все же долго не решались оставаться без резервной подачи пара с берега. Расстаться с этой связью помогла стихия. 27 августа на Неве произошло очередное довольно высокое поднятие уровня воды. Нависала угроза поломки шарнирных связей линии паропровода с берега. Его пришлось срочно разобрать. Ледокол перешел на полное самообеспечение по пару.

12 сентября швартовные испытания ледокола были закончены. Наступил момент апробации в море. 14 сентября ледокол прощался с Ленинградом. Он был выведен на Неву к мосту лейтенанта Шмидта и принимал на своем борту экскурсантов. 15 сентября буксиры осторожно вывели ледокол в район Красногорского рейда. Вблизи Кронштадта шли последние приготовления к дальнейшему движению. Оно началось 19 сентября с буксировкой пароходом «Профессор Попов». Собственные электродвигатели винтов ледокола были поставлены под нагрузку. Винты слегка прокручивались, не создавая ледоколу собственного хода. Движение задавал буксир. Капитан ледокола не спешил расставаться с ним, хотя находящийся на ходовом мостике А.П. Александров упрашивал его об этом. Вскоре Анатолий Петрович заметил, что вдруг исчез бурен воды за кормой «Профессора Попова». Оказалось, что там сбросили ход в связи с заклиниванием руля. Имея инерцию в движении, ледокол стал сближаться с буксирующим судном. Пришлось быстро обходить «Профессора Попова», развивая собственное движение. Ледокол резко повернул влево, оборвал натягом сперва один затем второй буксир и лег на собственный курс с винтами, развивающими вращение от турбогенераторов, питаемых «атомным паром». Воздух прорезал долгий зычный гудок новорожденного и набравшего силы ледокола. Он прощался с «Профессором Поповым» и обретал собственную еще загадочную жизнь. На ходовом мостике стояли вместе трое: Павел Акимович Пономарев, Анатолий Петрович Александров и Игорь Иванович Африкантов. Со шлюпочной палубы взметнулась и нырнула в бурун за ледоколом закупоренная бутылка из-под коньяка с запиской для потомков о первом собственном ходе первого в мире надводного атомохода. Секция радиационной безопасности Приемной комиссии по ледоколу вошла в роль летописца.

На борту ледокола в море побывали представители Комиссии по атомной энергии США вместе с председателем Мак Коуэном. Гости были удивлены быстрым снятием со стоянки и движении ледокола. Говорят, что после их доклада в США о результатах

поездки в нашу страну адмирал Риквер получил упрек от сената за неправильную информацию о строительстве атомного ледокола.

Во время ходовых испытаний возникало много различных ситуаций, но одна из них запомнилась на всю жизнь. Реакторы работали на мощности и вдруг произошло полное обесточивание пульта управления. Он погрузился во тьму, не было видно ни одного показания приборов. К этому времени была успешно завершена борьба со светящимися шкалами и стрелками приборов, так как они могли вносить дополнительный вклад в дозовые радиационные нагрузки персонала.

В темноте было невозможно контролировать состояние реактора и положение органов регулирования в его активной зоне. Томительное ожидание казалось вечностью. В действительности через 3 мин подали электропитание на пульт. Автоматические регуляторы и стержни аварийной защиты были на нижних концевиках, реакторы расхолаживались. Причина обесточивания пульта оказалась простой. Дежурный электромеханик предпринял попытку внести усовершенствование в схемы пульта во время работы установки на мощности. Случившееся пошло впрок всем, в том числе и электрику, который, кстати, позже возглавил электромеханическую службу нового атомного ледокола.

При плавании по чистой воде нельзя было проверить работу ледокола с полным упором на винтах, соответствующую режиму работы его во льдах. На Балтийском море даже зимой не существует льдов, позволяющих проверить работу винтов при полном упоре со 100-процентной мощностью на их двигателях. Поэтому в районе Березовых островов вблизи поселка Манола у берега моря был воздвигнут бетонный упор, так называемый пал. Он имитировал сопротивление льда. Конечно, странно было видеть в этом уголке Балтийского моря ледокол с приваренной на носу специальной конструкцией для упора, которой он пытался столкнуть бетонный цилиндрический пал. Работа ледокола на упор показала, что развиваемое им усилие в таком режиме работы выше расчетного. Одновременно с упором винтов была проверена работа всех трех реакторов с выводом на 100% каждого.

3 декабря 1959 года атомный ледокол был принят в опытную эксплуатацию. Зимой он провел в Кронштадте, где устранялись выявленные во время испытаний неполадки и выполнялись первые ремонтные работы.

В апреле ледокол вышел из Кронштадта на рейд порта Таллин. Здесь были последние приготовления к дальнему рейсу на Север в

порт приписки Мурманск. Сюда прибыл ледокол «Капитан Воронин», которому предстояло шествовать впереди ледокола «Ленин».

30 апреля 1960 года хмурым утром в тумане ледокол начал движение в сторону датских проливов. На первых сотнях миль его сопровождали тральщики, так как Балтийское море еще не было полностью освобождено от затерявшихся с войны мин. Праздничным днем 1 Мая предстояло пройти датские проливы — территориальные воды Дании. Специального запроса Дании об этом не было сделано, и все сводилось к первому прецеденту с проходом через чужие воды атомного судна.

1 Мая ледокол вошел в пролив Бельт. Тотчас же рядом оказался датский фрегат. Он пристраивался к ледоколу то с одного, то с другого борта, то заходил с кормы. Очевидно, на фрегате производили измерения уровней излучения вокруг ледокола, а также содержание радионуклидов в потоках воздуха и воды за ледоколом. Не оставили без внимания ледокол и с воздуха — над ним проходили и самолеты, и вертолеты с различными опознавательными знаками. Летали они весьма низко над палубами. На выходе из проливов фрегат обогнал ледокол и даже вышел поперек его курса. На его палубе появилась команда, над фрегатом замелькали сигнальные флаги. Это вызвало беспокойство, но оно прошло, когда моряки прочитали: «Счастливого плавания». Вообще встречные суда воспринимали ледокол доброжелательно. Как обычно в море, палубы встречных судов остаются безлюдными. Так было и на подходе ледокола к очередному встречному судну, пока там кто-то не замечал, что навстречу идет атомоход. Тогда и на носу, и по бортам судна быстро собирались свободные от вахты моряки. Они кричали что-то, махали руками. Судно салютировало флагами и гудком. Ледокол отвечал тем же, завершая церемониал басовитым тифоном.

Северное море встретило зыбью с длинными волнами. Все качалось и стало даже не до завтрака с красной икрой на майском праздничном столе в кают-компани. «Капитан Воронин» запросил разрешения лечь в дрейф, чтобы покормить команду обедом. Позже, уверовав в полную самостоятельность ледокола, «Воронин» продолжил плавание вдоль берега в более спокойных проходах в шхерах. Реакторная установка ледокола «Ленин» не испытывала никаких помех от качки.

На подходе к Кольскому заливу ледокол встретили наши военные корабли. В Кольском заливе все встречные суда или суда, стоящие на рейде и у причалов, приветствовали ледокол гудками. Гудел как бы весь залив. Это было 6 мая 1960 года.

Ледокол подошел к сооруженному для него причалу у поселка Роста перед самой окраиной города Мурманска. Здесь уже был контрольно-дозиметрический пункт. Вскоре он пополнился баржей для приема и временного хранения жидких радиоактивных отходов. Была подведена сюда и электроэнергия. Здесь началась подготовка к выходу в Арктику на ледовые испытания.

За создание атомного ледокола «Ленин» ЦКБ-15 и Адмиралтейский завод были награждены орденами Ленина. Научному руководителю А.П.Александрову, главному конструктору АППУ И.И. Африкантову и главному конструктору ледокола В.И. Неганову были присвоены звания Героев Социалистического труда. Двум группам специалистов (всего 12 человек) были вручены Ленинские премии. Многие были награждены орденами и медалями.

ТРАНСПОРТНЫЕ РЕАКТОРЫ*

Н.С. Хлопкин

Введение

Использование атомной энергии на море произвело подлинную революцию в характеристиках боевых кораблей ВМФ и надводных гражданских судов. Атомные подводные лодки смогли совершать длительные автономные плавания, не всплывая на поверхность — они действительно стали подводными. Надводные боевые корабли могли совершать длительные рейсы на больших скоростях и осуществлять боевую деятельность, не нуждаясь в пополнении топливом.

Атомные ледоколы могли длительно работать на больших мощностях, в течение всей навигации не уходя с трассы проводки судов для заправки топливом.

Атомная энергетика на море завоевала прочные позиции. В России создан крупнейший в мире атомный военный флот и уникальный ледокольный флот. Сложнейшие проблемы, вставшие при создании морских установок, были решены в очень короткие сроки. Всего лишь через 6 лет после начала проектирования были приняты в эксплуатацию первая атомная подводная лодка и первый атомный ледокол. Важнейшая роль в этом деле принадлежит академику А.П.Александрову — научному руководителю создания атомного флота.

* Труды юбилейной конференции Министерства Российской Федерации по атомной энергии 29-30 августа 1995 г. «Ядерной науке и технике России 50 лет», стр. 150-163



Первое в мире гражданское судно — атомный ледокол «Ленин» (1959 г.)



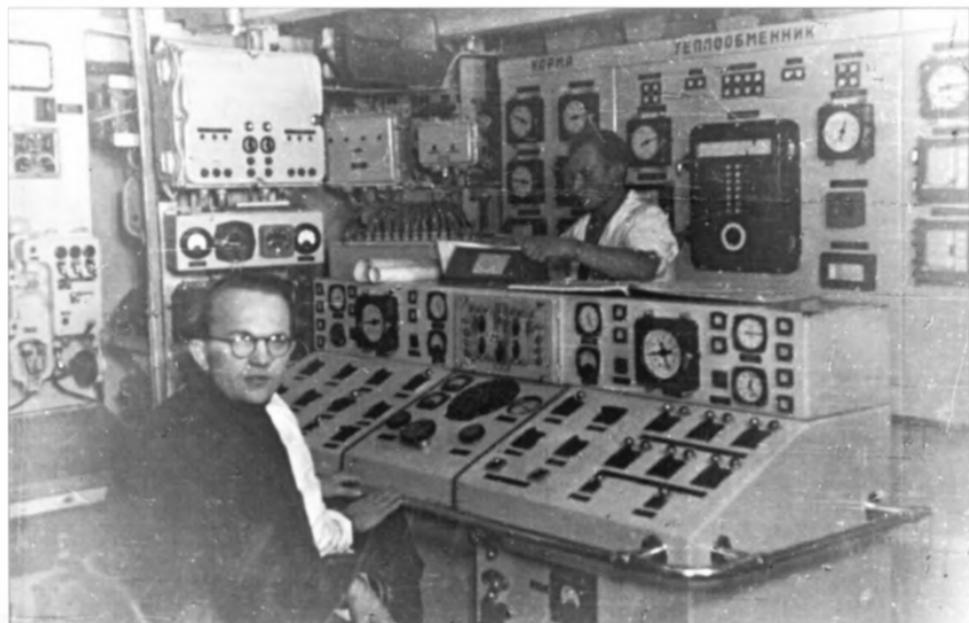
В Северном море — полный вперед !



Начало базы атомного флота (на втором плане — «Ермак»)



Ледокол «Ермак» первый раз берут на буксир — плачет его капитан



У пульта первой установки



На борт а/л «Ленин»
по штурмтрапу



В каюте а/л «Ленин»

Везем горючее для
станции СП-10



Строим аэродром для
СП-10



«Арктика» (1975 г.)



«Сибирь» (1977 г.)



«Россия» (1985 г.)



«Советский Союз» (1989 г.)



«Ямал» (1993 г.)



В салоне капитана а/л «Арктика»



Древко знамени Седова, умершего в 1914 г. в походе на полюс, все-таки побывало на нем (древко у Ю.С.Кучиева рядом — Т.Б.Гуженко)



«Арктика» на Северном полюсе



Где же он полюс? (на борту а/л «Арктика»)



Вручение медали Золотая Звезда и ордена Ленина



Министр Морского флота Т.Б.Гуженко в домике Курчатова



«Таймыр» (1989 г.)



«Вайгач» (1990 г.)



Транспортное судно «Севморпуть» (1988 г.)



«50 лет Победы» (2005?)

Начало работ по морской атомной энергетике

В связи с появлением иностранных публикаций о возможностях применения атомной энергетике на подводных лодках и авианосцах Первое Главное управление (ПГУ) СМ СССР на заседании 24 марта 1947г. признало необходимым приступить к научно-исследовательским и подготовительным проектным работам по морским энергосиловым установкам, в первую очередь — для подводных лодок.

9 сентября 1952г. по предложению И.В.Курчатова, А.П.Александрова и Н.А.Долежаля, поддержанного заместителем председателя СМ СССР В.А.Малышевым, вышло решение за подписью И.В.Сталина о развертывании работ по сооружению подводной лодки.

Роль МСМ и его межведомственного совета

Министерство среднего машиностроения (МСМ) сыграло исключительную роль в становлении атомной энергетике на море. Оно осуществляло управление проектированием и созданием морских ЯЭУ. Оно было заказчиком наземных прототипов энергоустановок первой атомной подводной лодки и самой подводной лодки. Министерство создало в конструкторских бюро (ОКБМ, НИКИЭТ, ГИДРОПРЕСС, ГСПИ), научных предприятиях (ЛИПАН, ФЭИ, ВНИИНМ) и заводах по производству делящихся и поглощающих нейтроны материалов и твэлов специальные подразделения, ведущие работы по морской тематике. Министерство организовало межотраслевое взаимодействие столь многоплановой работы между ВМФ, Минсудпромом, Миноборонпромом, Академией Наук и др. ведомствами. Оно создало мощную экспериментальную базу для проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

По опыту создания промышленных реакторов было введено научное руководство работами по реакторным установкам, осуществлявшееся Лабораторией измерительных приборов АН СССР (позднее — Институт атомной энергии) и Лабораторией В (позднее — Физико-энергетический институт). По каждому проекту научный руководитель назначался персонально.

Велика роль Министерства в подготовке кадров для атомной промышленности. Уже в конце 1945 г. по предложению ПГУ было принято постановление Совета Народных Комиссаров СССР о подготовке специалистов в области ядерной физики и о праве ПГУ отбирать лучших выпускников вузов. В 1947 г. было принято

решение о создании специальных факультетов в вузах Московском механическом институте, МЭИ, МВТУ, МГУ и др. В 1948 г. был организован Московский инженерно-физический институт, объединивший факультеты ряда институтов и ставший кузницей кадров по различным специальностям.

Министерство создало штат высококвалифицированных кураторов, имевших большой авторитет в промышленных кругах. Руководство межведомственных приемных комиссий, как правило, возлагалось на представителя Министерства.

При Министерстве был создан Межведомственный совет с секцией, включающей специалистов Минсредмаша, Минсудпрома, ВМФ, ММФ и др. ведомств. На нем обсуждались планы работ и их обеспечение, результаты проектирования, ввода в действие и опыт эксплуатации морских установок. Сюда стекались предложения как отдельных ученых, так и предприятий. Здесь искались решения основных проблем атомного флота. Совет проводил научную экспертизу предложений и проектов наиболее важного оборудования, анализировал результаты исследований. Экспертиза производилась или независимыми экспертами или предприятиями, не связанными с данным проектом. Обязательными были экспертные заключения Первого ЦНИИ ВМФ и головного предприятия Минсудпрома — ЦНИИ им.А.Н.Крылова. Практически ежегодно на Совете обсуждались результаты эксплуатации подводных лодок и ледоколов, что давало возможность осуществить обратную связь, оценить правильность конструкторских решений, выявить недостатки и наметить меры по их устранению.

Здесь обсуждались планы работ и долгосрочные программы по НИР и ОКР по морским реакторным установкам и выбору прототипов ЯЭУ.

Совет рассматривал и вопросы конверсии достижений по реакторным установкам ВМФ в народное хозяйство, в частности, для реакторов атомных ледоколов, что позволило быстро создать гражданский атомный флот с современными паропроизводящими установками. На основе итогов обсуждения вопросов на Совете готовились решения, которые после утверждения ведомствами становились обязательными для исполнителей.

Создание научной экспериментальной базы для развития атомной энергетики

Большой объем НИР и ОКР в обоснование решений сложных научно-технических проблем морской атомной энергетики потребовал мощной экспериментальной базы. Были созданы за счет, в основном, средств Министерства исследовательские реакторы и критсборки, крупные, а в ряде случаев, полномасштабные стенды и установки.

Уже в апреле 1952г. в ЛИПАН был введен в действие исследовательский реактор РФТ мощностью 10 МВт с горячими камерами и пятью экспериментальными петлями с различными параметрами теплоносителей, проведены первые исследования твэлов и конструкционных материалов для морских установок и отработаны конструкции топливных сборок.

Тепловыделяющие элементы для морских установок разрабатывались вначале на многих предприятиях (в частности, в ЛИПАН был предложен диоксид урана в качестве топливной композиции). Затем эти работы были сосредоточены во ВНИИНМ и ВИАМ, в которых были созданы специальные подразделения и стенды для отработки технологии.

На смену РФТ в декабре 1963 г. пришел реактор МР мощностью 20 МВт, которая затем была повышена до 40 МВт, а число петлевых, хорошо оснащенных каналов было увеличено с 13 до 26.

К началу 60-х годов был создан НИИАР для испытаний новых типов реакторов, твэлов и радиационных испытаний материалов. Здесь в 1961г. был пущен высокопоточный реактор СМ-2, позволявший осуществлять материаловедческие испытания в более короткие сроки. В 1966 г. был введен реактор МИР мощностью 100 МВт с петлевыми каналами. Исследовательские реакторы НИИАР оснащены первоклассными горячими камерами.

В 1969 г. вблизи г.Семипалатинска введен в строй импульсный графитовый реактор ИГР для изучения поведения тепловыделяющих элементов при импульсных нагрузках.

Ввиду сложности физики водо-водяных реакторов значительную часть вопросов приходилось решать экспериментально. Первая полномасштабная критсборка — физическая модель активной зоны ФВР, была создана в ЛИПАН в 1953 г. На ней были установлены основные характеристики первых активных зон — загрузка топлива, шаг решетки, эффективность органов регулирования, запасы реактивности. Выяснилось также, что при нагреве до 90°С активная зона имеет положительный температурный коэффициент реактивности.

Важно было знать, каким он будет при рабочих параметрах воды. Это можно было сделать в прочном корпусе, но его не было. Выход был найден. Снижение плотности воды имитировалось сахарным песком, имеющим почти вдвое меньшую плотность по водороду, чем вода. Температурный эффект был отрицателен, что существенно упростило управление установкой.

Вскоре после первой критсборки ФВР были созданы многочисленные критстенды как в ЛИПАН, так и в ФЭИ, а затем в ОКБМ, Электростальском машиностроительном заводе — изготовителе активных зон для проведения их комплектации и на судостроительных заводах для установления окончательных характеристик зон.

Горячие стенды в прочных корпусах для исследования характеристик в области рабочих температур были созданы в ЛИПАН, ФЭИ, ОКБМ и ЦНИИ им.А.Н.Крылова. Но первое определение свойств активной зоны при температурах, близких к рабочим, было проведено в штатном корпусе реактора непосредственно в цехе завода №92 г.Нижнего Новгорода.

Первые опыты по исследованию теплопередачи в активной зоне были проведены в ФЭИ и ВТИ. Затем по этим вопросам головным предприятием был назначен ФЭИ, где были сооружены теплотехнические стенды, позволившие отработать вопросы теплофизики высоконапряженных активных зон.

В начале проектирования предполагалось, что выбранные для первого контура коррозионно-стойкие нержавеющие стали, хорошо зарекомендовавшие себя в химической промышленности, не создадут проблем водно-химических режимов. Подавление радиоллиза воды предполагалось достичь введением платиновых катализаторов, но вопрос решился просто и без введения специальных катализаторов. Поверхности из нержавеющей стали Iк при высоких температурах приобретают свойства катализаторов.

Вскоре было установлено, что нержавеющая сталь существенно ржавеет. Позднее это вылилось в парогенераторах в очень серьезную проблему. В связи с этим были широко развернуты работы по водно-химическим режимам. Технология теплоносителя и способ поддержания его качества в процессе эксплуатации отработывалась на стендах ФХИ им.Карпова, ВТИ и ЛИПАН, в петлях исследовательских реакторов. Удалось выбрать сорбенты для фильтров и создать довольно простой водно-химический режим Iк.

В 1954г. в ЛИПАН был введен в действие экспериментальный реактор для изучения возможностей ослабления потоков нейтронов различными материалами и экранами между активной

зоной и корпусом реактора. Последнее имело две цели — уменьшить размеры корпуса, что требовали заводы-изготовители, и снизить в корпусе термические напряжения, возникающие вследствие выделения тепла при поглощении нейтронов и гамма-квантов в стенках корпуса. Некоторые специалисты считали их очень опасными и высказывали предположения, что корпус из-за них может лопнуть. К счастью, эти опасения совершенно не оправдались.

Для уточнения методик расчета биологической защиты и исследования процессов прохождения излучений через различные наборы материалов вслед за реактором ВВР были построены в НИКИЭТ и ЦНИИ им.А.Н.Крылова специальные исследовательские реакторы, позволившие оптимизировать малогабаритную биологическую защиту и выбрать материалы для нее.

Большое количество стендов для отработки основного оборудования реакторных установок было построено у главных конструкторов — ОКБМ, НИКИЭТ, Гидропресс, СКБК и др. Главные циркуляционные насосы, парогенераторы, арматура, приводы органов регулирования и т.п. прошли тщательную стендовую проверку, прежде чем были поставлены на объекты.

И, наконец, стенды — прототипы в натурных лодочных габаритах, содержащие полный состав энергетической установки, включая турбину, турбогенераторы и линию вала с гидротормозом.

Первый из них 27/ВМ введен в г. Обнинске в 1956г., здесь же введен стенд с установкой на жидкометаллическом теплоносителе — 27/ВТ в 1959 г. Затем были введены прототипы различных установок в городах Сосновый Бор и Пальдиски. Они не только позволили произвести комплексную проверку работоспособности оборудования, произвести отработку всех режимов работы установки, но и подготовить эксплуатационный персонал.

Развитие морской атомной энергетики

Сейчас эксплуатируется несколько поколений атомных подводных лодок.

Первое поколение продемонстрировало техническую осуществимость создания мощных компактных реакторных установок, их достаточную безопасность и надежность. Были получены подводные скорости существенно превосходящие скорости американских атомных подводных лодок и кратковременные максимальные скорости дизельных подводных лодок.

Реакторные установки второго поколения отличались от первого более высокой надежностью за счет увеличения резервирования оборудования, упрощения и резкого сокращения разветвленности первого контура и устранения на нем арматуры больших диаметров.

Кроме лодок с реакторами с водой под давлением были подводные лодки, использовавшие реакторы с жидкометаллическим теплоносителем свинец-висмут. Такой теплоноситель нигде в мире не использовался. Была построена небольшая серия лодок второго поколения такого типа. Эти лодки имели минимальное водоизмещение и высокие скорости.

Здесь наиболее полно была осуществлена комплексная автоматизация, благодаря чему экипаж лодки был сокращен более чем втрое.

Достижения жидкометаллического направления были стимулятором работ по усовершенствованию реакторных установок с водяным теплоносителем.

Выявлены новые возможности их совершенствования. Было создано их третье поколение, вдвое повышены мощность и энергозапас активных зон, причем, без увеличения размеров реакторов. Увеличен ресурс всего оборудования, снижена шумность, введена комплексная автоматизация.

Сейчас разрабатываются концепции установок XXI века.

Построены четыре тяжелых крейсера с ракетным вооружением. Было начато строительство атомного авианесущего крейсера в г. Николаеве. Сейчас это за граница, и когда он будет достроен или будет ли достроен — неизвестно.

Разработка двух направлений установок — с водяным и жидкометаллическим теплоносителем была вызвана большим количеством проблем в создании морских атомных энергетических установок, порождаемых очень жесткими требованиями.

Жидкометаллическое направление привлекало низкими давлениями в первом контуре, более высоким температурным потенциалом, сулящим более высокий коэффициент полезного действия.

Но требовались особая инфраструктура, которая в основном создавалась уже после ввода в действие подводных лодок, и больше обслуживания во время нахождения в базе.

Огромный положительный опыт, накопленный реакторами с водой под давлением, подтвержден мировой практикой. Высокая отработанность технологии корпусных реакторов с водяным теплоносителем в транспортной и наземной атомной энергетике еще раз подтверждает правильность выбора воды в качестве замедлителя и теплоносителя для основного варианта реакторной установки.

Но соревнование двух направлений сыграло большую роль в совершенствовании морских ЯЭУ.

Гражданский атомный флот

Конверсии в атомной промышленности в Министерстве придавалось большое значение.

Достижения оборонного комплекса на протяжении многих десятков лет использовались в народном хозяйстве.

Создание военной и гражданской техники на основе единой технологии очень эффективно для совершенствования и той и другой.

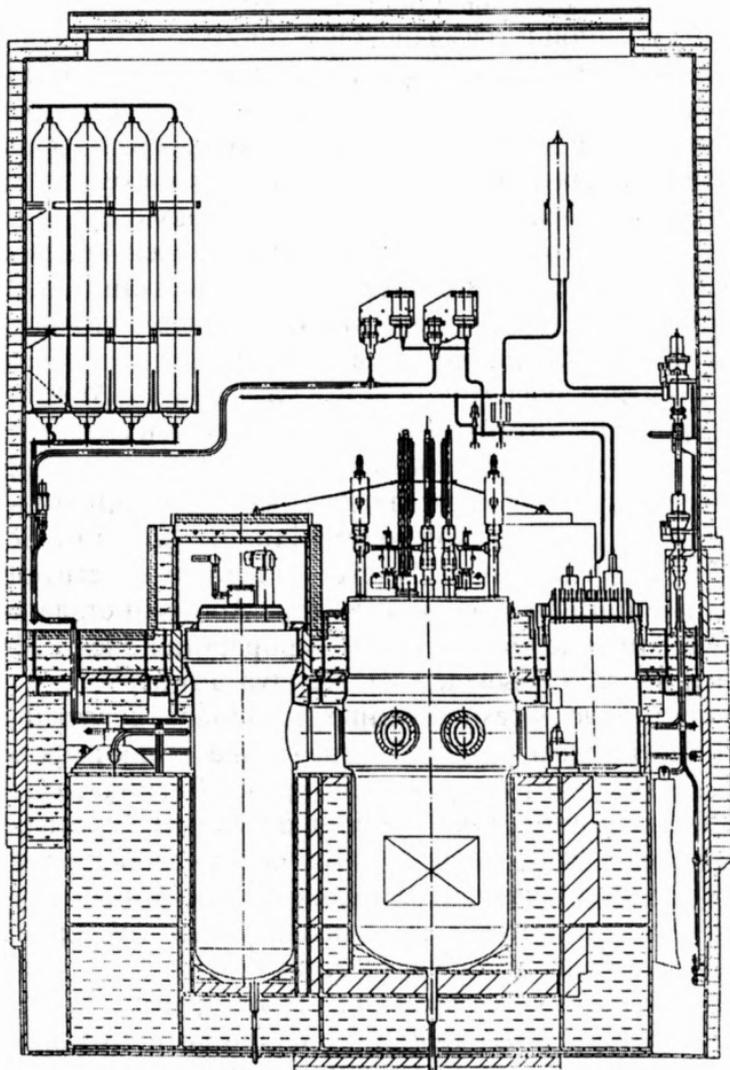
Технология промышленных уран-графитовых реакторов легла в основу реакторов РБМК. Технология лодочных реакторов с водой под давлением создала прочный фундамент для атомных станций с корпусными реакторами и для атомных ледоколов.

Для гражданского флота достижение конкурентоспособности с флотом на органическом топливе очень существенно, поэтому установки атомных ледоколов заметно отличались от энергетических установок ВМФ, где приоритетными были другие требования.

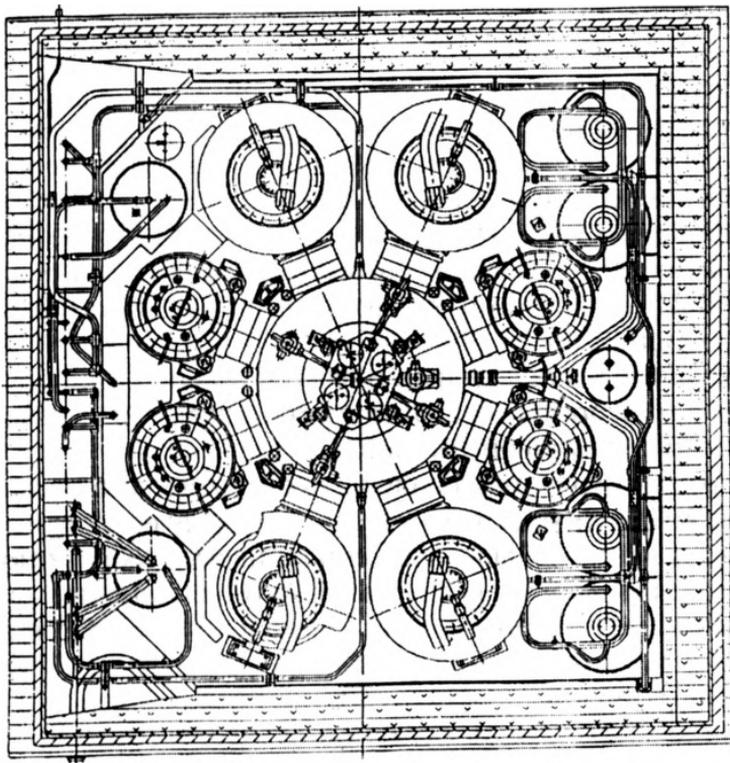
По инициативе академиков И.В.Курчатова и А.П.Александрова проектирование атомных ледоколов началось в 1953 г. — через год после начала проектирования атомной подводной лодки. Атомный ледокол «Ленин» мощностью 44 тыс. л.с, сданный в эксплуатацию в 1959 г., открыл новую эру в использовании Северного морского пути и превращению его в надежно действующую магистраль, навигация в западном секторе Арктики стала круглогодичной. Атомный ледокол «Ленин» проработал очень эффективно 30 лет и в 1990 г. выведен из эксплуатации.

Всего построено восемь атомных ледоколов, девятый достраивается на Балтийском заводе. В море осуществляют проводку линейные ледоколы «Арктика», «Сибирь», «Россия», «Советский Союз», «Ямал» мощностью 75 тыс. л.с каждый. В устьях Сибирских рек, являющихся существенной частью транспортной магистрали, действовали дизельные ледоколы, т.к. линейные атомные ледоколы не могли пройти из-за малых глубин. В суровые зимы дизельные ледоколы здесь часто оставались без топлива и даже пресной воды. Плановые перевозки грузов срывались. Появление в устьях рек построенных совместно с финнами атомных ледоколов «Таймыр» и «Вайгач», имеющих малую осадку, но достаточную мощность — 50 тыс. л.с, коренным образом изменило обстановку и здесь.

Эффективность ледоколов сильно возрастает при увеличении грузоподъемности проводимых судов. В 1988г. был построен атомный лихтеровоз «Севморпуть» водоизмещением 62 тыс. т с большой ледопроемностью. Он способен идти самостоятельно во льдах толщиной 1 м. Сейчас «Севморпуть» успешно работает на трассе Кольский полуостров — Дудинка, высвободив здесь два крупнотоннажных судна для других задач.



Реакторная установка второго поколения атомных ледоколов, продольный разрез



Реакторная установка второго поколения атомных ледоколов,
вид сверху

Работа атомных ледоколов и лихтеровоза не была бы успешной без современного базового обслуживания. Такая база — Атомфлот, была создана вблизи г. Мурманска. Перечень производимых базой работ велик. Она сейчас в состоянии обслуживать и другие атомные установки.

Независимое развитие отечественных атомных установок

Развитие отечественных морских установок происходило совершенно независимо от зарубежных. К моменту начала работ по ним была в полном разгаре «холодная» и «горячая» корейская войны, создавшие «железный» занавес между прежними союзниками. Получение разведанных было сильно затруднено и проблемы ЯЭУ были решены при практически полном отсутствии информации из-за рубежа.

Сам факт разработки атомных подводных лодок американцами был известен нашей стране. Скудные сведения можно было извлечь

из крайне ограниченной информации по морским ЯЭУ в иностранных журналах и справочнике Jane's Fighting Ships, к которым даже доступ вначале был строго ограничен.

О том, что наши решения по морским установкам отличались оригинальностью, можно судить по материалам Женевских конференций по мирному использованию атомной энергии (1955г., 1958г., 1964г. и 1971г.). Конечно, публикаций по военным ЯЭУ там не было. Но и из сопоставлений конструкций реакторных установок для судов мирного назначения разных стран это было отчетливо видно.

Ледокольные установки имели ряд важных особенностей. Меньшие массы и габариты на единицу установленной мощности, что очень важно для судовой установки.

Перегретый пар в энергосиловом контуре вместо насыщенного повышает КПД, упрощает турбину и ее систему регулирования, позволяя иметь давление пара неизменным на всех уровнях мощности.

Герметичный первый контур в сварном исполнении, осуществление очистки воды этого контура на ионообменных фильтрах без сброса давления, охлаждение приводов СУЗ особым контуром, а не проливкой их водой первого контура, позволили резко снизить образование жидких радиоактивных отходов во время работы установки. Были исключены предохранительные клапаны первого контура, не обладающие должной надежностью.

Газовая система компенсации вместо паровой не требовала специальной системы регулирования. Органы регулирования реактивности и их приводы были построены на разных принципах в соответствии с их функциональным назначением, что сокращает вероятность отказа по общей причине.

Но надо отметить, что в построенных зарубежных судовых установках для атомоходов «Саванна», «Отто Ган» и «Муцу» создавались более легкие условия для работы оборудования. В частности, требования к материалам теплоотдающих поверхностей у парогенераторов с насыщенным паром менее жесткие, чем у парогенераторов с перегретым паром.

Энергонапряженность активных зон ниже, чем у атомных ледоколов, что упрощает решение вопросов с повышением кампании активных зон и съемом остаточного энерговыделения в аварийных условиях.

Реакторы со свинцово-висмутовым теплоносителем не имели аналогов за рубежом. И если такие аналоги появятся, то надо будет говорить о заимствовании наших идей за границей.

Сказанного достаточно для вполне определенного заключения о самостоятельности наших разработок морских ЯЭУ.

Перспективы морской атомной энергетики

Сейчас трудно говорить о перспективах всей атомной энергетики. Времена эйфории прошли. Тем не менее перспективы остались. России для защиты своих интересов совершенно необходим атомный военно-морской флот с современными ЯЭУ. Без них для ВМФ невозможно решить возложенные на него задачи.

Возрастает актуальность конверсии с целью использования технологии оборонного комплекса в народном хозяйстве. Одним из видов конверсии является разработка установок двойного назначения, позволяющая сосредоточить усилия конструкторов, промышленности, а также финансовые ресурсы на выбранных типах установок.

И сейчас очень важно сохранить хотя бы в минимальном количестве коллективы КБ, научных учреждений, промышленности и инфраструктуру для поддержания работ по морским установкам, нужны их заказы.

Скорее всего, развитие морской атомной энергетики пойдет по эволюционному пути с использованием огромного накопленного опыта, хотя сейчас появляются предложения по революционному изменению ее облика. Конечно, разработку принципиально новых установок, создавая задел, надо вести. Но они будут отработаны лишь через 15-20 лет. А в эти годы надо совершенствовать существующие установки, возможности которых еще не исчерпаны, и использовать их для практических предложений.

Сейчас в связи с исчерпанием срока службы выводятся из действия многие дизельные ледоколы. Целесообразно их заменить на атомные, которые доказали свои преимущества на Севере. Нам нужен и атомный ледокол, который бы обеспечил плановую доставку груза в заданную точку в любое время года.

Большие возможности для применения морских атомных энергетических установок открывает освоение шельфа северных морей, где разведаны очень большие запасы нефти и газа. Значительная часть месторождений длительное время покрыта льдом, поэтому здесь могут найти применение подводные суда для разведки, обустройства промысла, его обслуживания и снабжения энергией.

В ближайшие годы установки ледокольного типа предполагается использовать на плавучих атомных станциях электротеплоснабжения и станциях для опреснения морской воды.

Размещение станций на воде сокращает время постройки благодаря полной проверке характеристик и наладке в обжитых районах, буксировке в практически готовом виде потребителю.

В случае отсутствия потребностей в одном месте станцию нетрудно переместить на другое место.

Наземная малая энергетика может приобрести второе дыхание, если при ее создании применить отработанную технологию морских установок. Герметичное исполнение всего оборудования, его высокий ресурс, сведение к минимуму количества жидких и газообразных отходов, комплексная автоматизация, саморегулирование с комплексной автоматизацией, резко сокращающие персонал — все это очень подходит для малых АЭС и АТЭС.

Не исключено, что, может быть, именно морская мирная энергетика откроет дорогу наиболее современным и перспективным морским реакторам. Ибо она возвращает значительную долю средств, на нее затраченных. А при наличии заказов подобные реакторы могут быть применены и для нужд ВМФ.

Заключение

Морская атомная энергетика имеет за плечами богатый опыт. У ее колыбели стояли такие выдающиеся деятели как Курчатов Игорь Васильевич, Ванников Борис Львович, Завенягин Авраамий Павлович, Славский Ефим Павлович, Мальшев Вячеслав Александрович.

Научное руководство решением проблем морской атомной энергетики осуществляли замечательные ученые-академики Александров Анатолий Петрович, Лейпунский Александр Ильич.

Особенно велики заслуги А.П.Александрова в создании атомных флотов — научного руководителя не только ЯЭУ, но и всех атомных кораблей и судов в целом.

Разработки морских атомных энергетических установок и оборудования к ним вели крупнейшие конструкторы и ученые: Доллежал Николай Антонович, Африкантов Игорь Иванович, Митенков Федор Михайлович, Шолкович Борис Михайлович, Бочвар Андрей Анатольевич.

Разработкой первой атомной лодки руководил главный конструктор Перегудов Владимир Николаевич.

Главный конструктор первого атомного ледокола — Неганов Василий Иванович. Беспримерен подвиг коллективов судостроительных заводов: Северодвинского № 402, директор Егоров Евгений Павлович, главный инженер Дубовиченко Владимир Иванович, глав-

ный строитель Вашанцев Валентин Иванович; Ленинградского Адмиралтейского, директор Клопотов Борис Евгеньевич, главный строитель Червяков Владимир Иванович.

Исключительно велика роль Министерства в морской атомной энергетике. Министерство управляло проектированием и созданием ЯЭУ. Оно подключило к работам по транспортным реакторам выдающиеся конструкторские бюро — НИКИЭТ, ОКБМ, Гидропресс, научные организации — ВНИИНМ, Институт биофизики, ФЭИ, ЛИПАН, создало техническую базу для отработки ЯЭУ, наземные стенды — прототипы, специальные заводы, подготовило квалифицированный персонал для развертывания работ в обеспечение развития морской атомной энергетике.

Большой вклад внесли: Поздняков Борис Сергеевич, Николаев Николай Андреевич, Мешков Александр Григорьевич, Петросьянц Андраник Мелконович.

В Институте атомной энергии, кроме И.В.Курчатова и А.П.Александрова, надо отметить заслуги Гончарова Владимира Владимировича — в отработке тепловыделяющих элементов, Фейнберга Савелия Моисеевича, Гладкова Георгия Алексеевича — в разработке вопросов теплофизики, Батя Георгия Абрамовича в создании теории морских реакторов, Лазукова Николая Андреевича — в исследовании физических характеристик реактора.

СОЗДАНИЕ КОРАБЕЛЬНЫХ АТОМНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПОДВОДНЫХ ЛОДОК И НАДВОДНЫХ КОРАБЛЕЙ*

Н.С. Хлопкин

Использование атомной энергии на кораблях и судах произвело подлинную революцию в их характеристиках. Коренным образом изменились боевые возможности, вооружение и характер использования кораблей, принципы кораблестроения, архитектура корабля. Атомные подводные лодки смогли совершать длительные автономные плавания, не всплывая в надводное положение. Они стали истинно подводными кораблями в отличие от дизельных — ныряющих подводных лодок. Надводные боевые корабли стали совершать длительные походы на больших скоростях и осуществлять боевую деятельность, не нуждаясь в пополнении топливом.

Атомные ледоколы приобрели способность длительно работать на больших мощностях, в течение всей навигации не уходя с трассы проводки судов для заправки топливом. Корабельная атомная энергетика завоевала прочные позиции.

Благодаря тому, что в стране была развернута энергичная работа государственного масштаба, мобилизовавшая научный и индустриальный потенциал страны, — Академию наук, лучшие научно-исследовательские учреждения и конструкторские бюро, научные учреждения Военно-Морского Флота, мощнейшие заводы оборонной, судостроительной, атомной и других отраслей промышленности, в Советском Союзе были созданы крупнейший в мире

* Российская наука — военно-морскому флоту. Москва «Наука» 1997 год, стр. 254-263.

современный атомный военный флот и уникальный ледокольный флот. Сложнейшие проблемы, вставшие при создании корабельных и судовых ядерных энергетических установок, многогранные научные задачи, возникшие при этом, были решены в очень короткие сроки. Всего лишь через несколько лет после начала проектирования были приняты в эксплуатацию и первая атомная подводная лодка проекта 627, и первый атомный ледокол. Важнейшая роль в этом деле принадлежит академику А.П. Александрову — научному руководителю создания атомного флота, ученому, обладавшему редким талантом преобразовывать достижения фундаментальной науки в конкретные инженерные решения по военному кораблестроению с учетом гидрофизических и гидрологических условий, характерных для боевых действий кораблей.

А начиналось это так.

В связи с появившимися в печати сведениями о возможностях применения атомной энергетики на американских подводных лодках и авианосцах Первое главное управление (ПГУ) СМ СССР на заседании 24 марта 1947 г. признало необходимым приступить к научно-исследовательским и подготовительным проектным работам по энергосиловым установкам этого типа, в первую очередь для подводных лодок.

В 1948 г. А.П. Александров предложил начать практические работы по атомным подводным лодкам для существенного повышения эффективности флота. Предложение было признано несвоевременным, т.к. отвлекало силы от создания атомной бомбы.

В 1949 г. бомба была взорвана, это дало возможность вернуться к работам по атомной энергетике.

04.11.49 г. С.М. Фейнберг из Лаборатории измерительных приборов АН СССР (ЛИПАН) в своей записке в ПГУ «Атомная энергия для промышленных целей», оценив загрузки делящихся материалов для двигателей подводных лодок, рекомендовал для реакторов с водяным охлаждением применить воду и в качестве замедлителя. Длина замедления нейтронов в воде составляла всего 6-7 см, что позволяло уменьшить габариты реактора.

Работы по корабельным ядерным энергетическим установкам развернулись широким фронтом в ноябре 1949 г., когда было предложено три варианта морских реакторов:

- под индексом ШГ «Шарик» — с графитовым замедлителем и гелиевым охлаждением — научный руководитель А.П. Александров (Институт физических проблем), главный конструктор Б.М. Шолкович (ОКБ Гидропресс);

- под индексом ВТ — с бериллиевым замедлителем и гелиевым охлаждением — научный руководитель А.И. Лейпунский (Физико-энергетический институт), главный конструктор также Б.М. Шолкович;
- под индексом АМ — с графитовым замедлителем и водяным охлаждением — научный руководитель И.В. Курчатов (ЛИПАН), главный конструктор Н.А. Доллежалъ (НИИхиммаш).

Комплекс этих установок под индексом В-10 было решено построить на площадке Физико-энергетического института с вводом в действие, согласно Постановлению СМ СССР от 16.05.50 г., всех трех установок в 1951 г. Однако вскоре работы по проектам были заторможены в связи с отвлечением сил и средств для создания промышленных реакторов — агрегатов АИ и И. Но уже 9 сентября 1952 г., по предложению И.В. Курчатова, А.П. Александрова и Н.А. Доллежалъ, поддержанного заместителем председателя СМ СССР В.А. Малышевым, вышло решение за подписью И.В. Сталина о развертывании работ по сооружению подводной лодки с ядерной энергетической установкой.

В конце 1952 г. к указанным трем вариантам добавился четвертый, предложенный ЛИПАН, — энергетический реактор корпусного типа с водой под давлением — индекс «ЭРКТ» (позднее ВМ): научный руководитель А.П. Александров (ЛИПАН), главный конструктор Н.А. Доллежалъ (НИИхиммаш). Вариант ВМ родился как логическое следствие необходимости уменьшения размеров уран-графитового реактора варианта АМ, с тем чтобы он мог вписаться в габариты отсека подводной лодки. Это стало возможным за счет сокращения объема графита, роль которого как замедлителя нейтронов снизилась настолько, что в активной зоне графит можно было полностью убрать. Это и было сделано.

Созданная под председательством А.П. Александрова комиссия выбрала в качестве основного для первой подводной лодки вариант ВМ, что и было утверждено научно-техническим советом ПГУ. Вариант реактора с водой под давлением оказался более простым в исполнении, имел освоенный в энергетике теплоноситель и меньшую загрузку урана-235 по сравнению с другими вариантами. Были признаны достоинства также варианта ВТ с жидкометаллическим теплоносителем.

Работы по варианту ШГ были прекращены ввиду трудностей с удержанием продуктов деления в твэле без покрытия и невозможностью разместить этот реактор в габаритах подводной лодки. Вариант АМ из-за значительных размеров оказалось тоже невозмож-

ным использовать на подводной лодке. Тем не менее, он был доработан и реализован на первой в мире промышленной АЭС, которая, кстати, долгое время служила морякам. На ней стажировались личный состав электромеханических боевых частей (БЧ-5) первых экипажей подводных лодок и специалисты атомного ледокола «Ленин». Научным руководителем АЭС был назначен Д.И. Блохинцев.

Проект первой атомной подводной лодки с водо-водяным реактором (главный конструктор В.Н. Перегудов) был разработан в июле 1954 г. Минсудпром рассмотрел его с организациями, допущенными к созданию подводной лодки, и через В.А. Малышева представил проект в правительство на утверждение.

В ходе подготовки к рассмотрению проекта в правительство выяснилась необходимость привлечения научных организаций и специалистов ВМФ, которые до этого не допускались к работам по проектированию подводной лодки. Даже тактико-техническое задание на нее было подготовлено без каких-либо консультаций с ВМФ. А по этому заданию атомная подводная лодка предназначалась для нанесения ударов по военно-морским базам и портам с помощью торпеды диаметром около 2 м с ядерным зарядом, что явно не учитывало реальных возможностей противолодочной обороны противоборствующей стороны. После экспертного заключения комиссии ВМФ, возглавляемой контр-адмиралом А.Е. Орлом, оперативно-тактическое назначение лодки было изменено. Теперь она предназначалась для нанесения торпедных ударов по боевым кораблям и транспортам противника на морских и океанских путях. Для этого на подводной лодке вместо одного было принято установить 8 торпедных аппаратов с запасом в 20 торпед. Носовая часть подводной лодки была переделана, и согласованный с флотом проект подводной лодки был утвержден правительством.

В создании ядерной энергетической установки (ЯЭУ) для кораблей Министерство атомной энергии сыграло важную роль. Оно осуществляло управление проектированием и созданием морских ЯЭУ, было заказчиком наземного прототипа энергоустановки первой атомной подводной лодки и самой подводной лодки. Министерство создало в конструкторских бюро (ОКБМ, НИКИЭТ, Гидропресс, ГСПИ), на научных предприятиях (ЛИПАН, ФЭИ, ВНИИНМ) и заводах по производству делящихся и поглощающих нейтроны материалов и твэлов специальные подразделения, ведущие работы по морской тематике, а также организовало межотраслевое взаимодействие столь многоплановой работы между ВМФ,

Минсудпромом, Миноборонпромом, Академией наук и другими ведомствами. Оно создало мощную экспериментальную базу для проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

На основе опыта создания промышленных реакторов было введено научное руководство работами по реакторным установкам, осуществлявшееся Лабораторией измерительных приборов АН СССР (позднее — Институт атомной энергии) и Лабораторией В (позднее — Физико-энергетический институт). На каждый проект персонально назначался научный руководитель.

При Министерстве был создан Межведомственный совет (МВС) с секцией, включающей специалистов Минсредмаша, Минсудпрома, ВМФ, ММФ и других ведомств. На нем обсуждались планы работ и их обеспечение, результаты проектирования, ввод в действие и опыт эксплуатации морских установок. Сюда стекались предложения как отдельных ученых, так и коллективов предприятий. Здесь отыскивались решения основных проблем атомного флота. Совет проводил научную экспертизу предложений и проектов наиболее важного оборудования, анализировал результаты исследований. Экспертиза проводилась как независимыми экспертами, так и предприятиями, не связанными с данным проектом. Обязательны были экспертные заключения 1-го ЦНИИ МО и головного предприятия Минсудпрома — ЦНИИ им. академика А.Н.Крылова. Практически ежегодно на Совете обсуждались результаты эксплуатации подводных лодок и ледоколов, что давало возможность осуществить обратную связь, оценить правильность конструкторских решений, выявить недостатки и наметить меры по их устранению. Обсуждались и планы работ, и долгосрочные программы НИР и ОКР по морским реакторным установкам и выбору прототипов ЯЭУ.

Совет рассматривал и вопросы конверсии достижений по реакторным установкам ВМФ в народное хозяйство, в частности, для реакторов атомных ледоколов, что позволило быстро создать гражданский атомный флот с современными паропроизводящими установками.

На основе итогов обсуждения вопросов Советом готовились решения, которые после утверждения ведомствами становились обязательными для исполнителей.

Надо иметь в виду, что атомная энергетическая установка — только часть корабля, хотя и очень важная. Тип, назначение корабля, его тактико-технические элементы, позволяющие эффективно решать поставленные боевые задачи, — все эти военно-технические вопросы определялись специалистами ВМФ и военного кораблестроения.

1-й ЦНИИ МО, как ведущий институт ВМФ, был осведомлен о достижениях отечественной и зарубежной науки, на которых базировалось военное кораблестроение, и ориентировал Главный штаб ВМФ при составлении оперативно-тактических заданий на классы и типы кораблей, включаемые в программу строительства флота. Программный принцип строительства ВМФ — характерная особенность современного военного кораблестроения. На каждой стадии развития ВМФ военное кораблестроение имело свои планы, цели и пути их достижения. В формировании программ важную роль играли специалисты 1-го ЦНИИ МО и головной организации Минсудпрома — ЦНИИ им. академика А.Н.Крылова. Они готовили предложения по программам с учетом общего состояния науки, техники и возможностей производства, экономических возможностей страны, имея в виду создание корабля как единого функционального комплекса, обладающего высокой боевой эффективностью, способного сохранять свои свойства в течение всего жизненного цикла при реальности постройки таких кораблей в заданном количестве и в заданные сроки. Они формировали программы сбалансированного флота с учетом роли и места флота в системе вооруженных сил страны и боевых возможностей противоборствующей стороны.

Специалисты 1-го ЦНИИ МО и ЦНИИ им. академика А.Н. Крылова принимали самое деятельное участие в формировании программ научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по совершенствованию корабельной атомной энергетики, по повышению ее надежности, живучести и безопасности, освоению новых конструкционных материалов, снижению уровней физических полей.

Важную роль в создании морских ЯЭУ сыграли военные представители ВМФ, контролировавшие соблюдение в проектах требований тактико-технических заданий и воплощение в них технической политики флота.

В атомных энергетических установках особо важное значение имеет качество выпускаемой заводами продукции. Кроме отделов технического контроля, контроль за качеством изготавливаемого оборудования осуществлялся и военными представителями. Они давали разрешение на выпуск рабочих чертежей, контролировали важные этапы работ, требующие особо тщательной проверки, участвовали в заводских испытаниях и несли ответственность за качество выпускаемой продукции.

От создателей атомного флота требовалось очень многое. От заказчика при создании самого современного корабля — мужества

считаться с реальными возможностями науки и промышленности. От научного руководителя — того, что задуманные и заложенные в проект корабля идеи успели бы созреть для реализации и в то же время обеспечивали бы высокие боевые качества корабля на долгие годы. От главного конструктора — уверенности в том, что он достиг и удержался в границах достаточных и необходимых качеств корабля. От строителя корабля — способности технологически осуществить принятые инженерные решения в установленные сроки.

А.П.Александров, обладая глубокими знаниями в различных областях науки и техники, огромной интуицией и высокой культурой работы и общения, очень много сделал для эффективной организации взаимодействия головных участников создания корабля. Он нашел такие формы взаимодействия Военно-Морского Флота, промышленности, конструкторских бюро, научных учреждений, которые создали творческую атмосферу и способствовали слаженности в работе.

Большой объем НИР и ОКР в обосновании решений сложных научно-технических проблем корабельной атомной энергетики потребовал мощной экспериментальной базы. Были созданы, в основном за счет средств Министерства среднего машиностроения, исследовательские реакторы и критические сборки, крупные, а в ряде случаев полномасштабные стенды и установки. Развертыванию экспериментальных работ МСМ придавало исключительное значение.

Уже в апреле 1952 г. в ЛИПАН был введен исследовательский реактор РТФ мощностью 10 МВт с горячими камерами и пятью экспериментальными петлями с различными параметрами теплоносителей, проведены первые исследования твэлов и конструкционных материалов для корабельных установок, а также отработаны конструкции топливных сборок. Тепловыделяющие элементы для морских установок вначале разрабатывались на многих предприятиях (в частности, в ЛИПАН предложен диоксид урана в качестве топливной композиции). Затем эти работы были сосредоточены во ВНИИНМ и ВИАМ, создавшими специальные подразделения и стенды для отработки технологии.

На смену РТФ в декабре 1963 г. пришел реактор МР мощностью 20 МВт, которая затем была повышена до 40 МВт, а число петлевых хорошо оснащенных каналов увеличено с 13 до 26.

К началу 60-х годов создан НИИАР для испытаний новых типов реакторов, твэлов и радиационных испытаний материалов. Здесь в 1961 г. был пущен высокопоточный реактор СМ-2, позволявший осуществлять материаловедческие испытания в более

короткие сроки. В 1966 г. введен реактор «Мир» мощностью 100 МВт с петлевыми каналами. Исследовательские реакторы НИИАР были оснащены первоклассными горячими камерами.

В 1969 г. вблизи г. Семипалатинска введен в строй импульсный графитовый реактор (ИГР) для изучения поведения тепловыделяющих элементов при импульсных нагрузках.

Ввиду сложности физики водо-водяных реакторов значительную часть вопросов приходилось решать экспериментально. Первая полномасштабная критическая сборка — физическая модель активной зоны ФВР — создана в ЛИПАН в 1953 г. На ней были установлены основные характеристики первых активных зон — загрузка топлива, шаг решетки, эффективность органов регулирования, запасы реактивности. Выяснилось также, что при нагреве до 90°С активная зона имеет положительный температурный коэффициент реактивности. Необходимо было определить, каким он будет при рабочих параметрах воды. Для этого был необходим прочный корпус. Выход нашли. Снижение плотности воды при рабочих температурах имитировалось сахарным песком, имеющим почти вдвое меньшую плотность по водороду, чем вода. Температурный эффект был отрицателен, что существенно упростило управление установкой.

Вскоре после первой критсборки были созданы многочисленные критстенды в ЛИПАН и ФЭИ, а затем в ОКБМ, на электростальском машиностроительном заводе-изготовителе активных зон — для проведения их комплектации, на судостроительных заводах — для определения окончательных характеристик активных зон.

Горячие стенды в прочных корпусах для исследования характеристик в области рабочих температур были созданы в ЛИПАН, ФЭИ, ОКБМ и ЦНИИ им. академика А.Н.Крылова. Но первое определение свойств активной зоны при температурах, близких к рабочим, проведено в штатном корпусе реактора непосредственно в цеху завода № 92 г. Горького.

Первые опыты по исследованию теплопередачи в активной зоне проведены в ФЭИ и ВТИ. Впоследствии головным предприятием был назначен ФЭИ, где были сооружены теплотехнические стенды, позволившие исследовать теплофизические характеристики высоконапряженных активных зон.

В начале проектирования предполагалось, что выбранные для первого контура коррозионно-стойкие нержавеющие стали, хорошо зарекомендовавшие себя в химической промышленности, не создадут проблем в водно-химических режимах. Подавление радиолиза

воды предполагалось добиться введением платиновых катализаторов. Вопрос решился проще. Сами поверхности нержавеющей стали при высоких температурах сыграли роль катализаторов. Но вскоре было установлено, что нержавеющая сталь существенно ржавеет, что позднее сказало на парогенераторах и вылилось в очень серьезную проблему. Необходимо было широко развернуть работы по водно-химическим режимам. Технология теплоносителя и способы поддержания его качества в процессе эксплуатации обрабатывались на стендах ФХИ им. Л.Я. Карпова, ВТИ и ЛИПАН в петлях исследовательских реакторов. Удалось выбрать сорбенты для фильтров и создать довольно простой водно-химический режим.

В 1954 г. в ЛИПАН введен экспериментальный реактор для изучения возможностей ослабления потоков нейтронов различными материалами и экранами между активной зоной и корпусом реактора. Преследовались две цели — уменьшить за счет сокращения числа экранов размеры корпуса, что требовали заводы-изготовители, и снизить в корпусе термические напряжения, возникающие вследствие выделения тепла при поглощении нейтронов и гамма-квантов в стенках корпуса, которые некоторые специалисты считали очень опасными. К счастью, эти опасения не оправдались.

Для уточнения методик расчета биологической защиты и изучения процессов прохождения излучений через различные наборы материалов вслед за реактором ВВР в НИКИЭТ и ЦНИИ им. академика А.Н. Крылова были построены специальные исследовательские реакторы, позволившие оптимизировать малогабаритную биологическую защиту и выбрать материалы для нее.

Для обработки основного оборудования реакторных установок большое количество стендов было построено в ОКБМ, НИКИЭТ, Гидропрессе, СКБК и др. Главные циркуляционные насосы, парогенераторы, арматура, приводы органов регулирования и т.п. прошли тщательную стендовую проверку, прежде чем были поставлены на объекты.

И наконец, были созданы стенды-прототипы в натуральных лодочных габаритах, содержащие полный состав энергетической установки, включая турбину, турбогенераторы и линию вала с гидротормозом.

Первый из них 27/ВМ введен в г. Обнинске в 1956 г., здесь же в 1959г. введен стенд с реактором на жидкометаллическом теплоносителе -27/ВТ. Затем были введены в действие прототипы различных установок в городах Сосновый Бор и Пальдиски. Они позволили не только произвести комплексную проверку работос-

пособности оборудования, отработку всех режимов работы установки, но и подготовить эксплуатационный персонал.

В настоящее время в ВМФ эксплуатируется несколько поколений атомных подводных лодок.

Реакторная установка с водой под давлением, ставшая серийной для первого поколения, была разработана в НИИхиммаше (главный конструктор Н.А. Доллежал) под научным руководством ЛИПАН (научный руководитель А.П. Александров).

Было преодолено много трудностей. Очень непростым делом оказалось создание компактной установки большой мощности. Ввиду отсутствия опыта решили иметь на борту два реактора во избежание потери хода лодки при случайном срабатывании аварийной защиты или при выходе из строя резервированного оборудования реактора. Двухконтурная схема (в первом контуре — вода под давлением, тепло которой передавалось во второй контур для получения пара в парогенераторах, который направлялся в турбину, вращающую винт) создавала условия для стабильной работы реактора, но ее разветвленность затрудняла создание компактной биологической защиты. Для снижения массы биологической защиты были применены эффективные материалы — водо-стальные наборы, свинец, карборит.

Сложной оказалась физика водо-водяных реакторов. Она существенно отличалась от физики уран-графитовых реакторов. Нужно было учитывать резкое падение сечения рассеяния на воде у нейтронов спектра деления, термализацию надтепловых нейтронов. Была создана малогрупповая аппроксимационная методика расчета, в которой ряд констант уточнялся по экспериментальным данным.

Трудные проблемы были решены и при разработке надежных высоконапряженных активных зон с требуемым энергозапасом. В исследовательском реакторе РТФ, введенном в действие в ЛИПАН в 1952г. под руководством В.В.Гончарова, проверялись разнообразные топливные композиции и конструкции твэлов. По результатам испытаний были выбраны твэлы с сердечником из диоксида урана. В отечественных реакторах диоксид урана был применен впервые.

Теплоноситель реактора имел параметры, ранее неиспользуемые в энергетике, в частности очень высокие тепловые нагрузки и давление в первом контуре. Методика теплотехнических расчетов совершенствовалась по мере проведения экспериментов, выполнявшихся в Физико-энергетическом институте (ФЭИ) под руководством В.И.-Субботина и во Всесоюзном теплотехническом институте (ВТИ) под руководством В.Е. Дорошука.

К сожалению, первые наши представления о теплообмене в этих условиях оказались слишком оптимистичными, пришлось вносить коррективы в процессе проектирования. Камнем преткновения была качественная сварка коррозионно-стойкой нержавеющей стали, требующая самого тщательного соблюдения регламента. Без освоения сварки нельзя создать герметичный первый контур. Введение персональной ответственности за качество выполненной работы помогло решить этот вопрос. Большую роль в этом сыграл Е.П. Славский.

Затем всплыла проблема работоспособности трубных систем из нержавеющей стали в парогенераторах. На наземном стенде ресурс парогенераторов был приемлемым, а на подводной лодке — крайне недостаточным. Происходило коррозионное растрескивание труб под напряжением при попадании хлора во второй контур. Примененные способы очистки от хлора питательной воды не решали проблемы. Пришлось менять материалы теплоотдающих поверхностей парогенераторов. Интересно отметить, что применение простой малолегированной стали СТ-3 в несколько раз увеличило срок службы парогенераторов.

Довольно много труда потребовало создание герметичных насосов первого контура, подшипники которых работали на водяной смазке.

Несмотря на ряд недостатков, неизбежных при разработке совершенно новой реакторной установки, многие решения оказались очень удачными и использовались в реакторных установках военного и мирного назначения. Корпусной реактор, герметичный первый контур, прямоточные парогенераторы, перегретый пар во втором контуре, бессальниковые насосы полностью оправдали себя в процессе эксплуатации.

Строительство первой атомной подводной лодки было поручено Северному машиностроительному предприятию-заводу 402 (директор Е.П.Егоров), где в 1954 г. она была заложена на стапеле.

Реакторы на лодке смонтированы в сентябре 1956 г. В августе 1957г. подводная лодка спущена на воду. В первом квартале 1958г. завершены достроечные работы и проведены заводские швартовные испытания без вывода реакторов на мощность.

Для проведения государственных испытаний лодки была назначена правительственная комиссия под председательством вице-адмирала В.И.Иванова, которая следила за ходом работ на заводе. Работы по выводу реакторов на мощность были начаты 17 апреля 1958 г. Ночью дежурный по поручению А.П.Александрова записал в вахтенном журнале историческую фразу:

«Впервые в Советском Союзе без угля и мазута на подводной лодке дан пар».

К концу июня 1958 г. швартовные испытания атомной реакторной установки и всех систем корабля были завершены. Военно-морской флаг поднят 1 июля 1958 г. в присутствии Главкомандующего ВМФ С.Г.Горшкова.

В июле 1958 г. подводная лодка К-3 вышла в море на государственные испытания, которые проводились в Белом и Баренцевом морях до 1 декабря 1958 г. Затем ПЛ вернулась в г. Северодвинск для устранения выявленных при испытаниях недостатков. Но главные тактико-технические характеристики, заложенные в проекте, — скорость, маневренность, предельная глубина погружения — были подтверждены. В декабре 1958 г. принято решение о передаче подводной лодки флоту в опытную эксплуатацию с нахождением ее на заводе до устранения выявленных недостатков.

Первое поколение атомных подводных лодок продемонстрировало техническую осуществимость создания мощных компактных реакторных установок, их достаточную безопасность и надежность. Были получены подводные скорости, на которых можно совершать длительные походы. Подводные лодки показали вполне удовлетворительную обитаемость с приемлемыми климатическими условиями при длительном пребывании под водой.

Реакторные установки второго поколения отличались от первого более высокой надежностью за счет увеличения резервирования оборудования, упрощения и резкого сокращения разветвленности первого контура и устранения на нем арматуры больших диаметров. Повышена ремонтпригодность оборудования, улучшен доступ к нему. Повышен был и проектный ресурс оборудования. Доля автоматического управления возросла вдвое.

Кроме подводных лодок с реакторами с водой под давлением, которые на западе называли «рабочими лошадками флота», имелись подводные лодки под названием «скаковые лошади», использовавшие реакторы с жидкометаллическим теплоносителем свинец-висмут. Такой теплоноситель нигде в мире не использовался. Был построен наземный стенд-прототип этих лодок. Но такая подводная лодка первого поколения была построена только одна и сдана флоту в 1963 г.

Лодок второго поколения такого типа построено несколько. Благодаря компактности мощной энергетической установки эти лодки были минимального водоизмещения и имели высокие скорости. Под руководством академика В.А. Трапезникова здесь наиболее полно

осуществлена комплексная автоматизация, благодаря чему экипаж лодки сокращен более чем втрое.

Достижения в области жидкометаллического направления стимулировали работы по усовершенствованию реакторных установок с водяным теплоносителем. Было создано третье поколение водородных реакторов: вдвое повышены мощность и энергозапас их активных зон без увеличения габаритов, увеличен ресурс всего оборудования, снижена шумность, повышена маневренность установок с одновременным упрощением систем управления, введена комплексная автоматизация.

Разработка двух направлений установок — с водяным и жидкометаллическим теплоносителями — была вызвана большим количеством проблем в создании корабельных ЯЭУ, порождаемых очень жесткими требованиями со стороны ВМФ.

Хотя жидкометаллическое направление начало развиваться несколько раньше водо-водяного, однако задержалось на старте в связи с освоением принципиально нового типа теплоносителя, по которому не имелось никакого опыта. А привлекало оно низким давлением теплоносителя в первом контуре, более высоким температурным потенциалом, сулящим более высокий коэффициент полезного действия.

Подводные лодки с ЯЭУ на жидкометаллическом теплоносителе требовали особой инфраструктуры, которая в основном создавалась уже после ввода в действие подводных лодок, и особого обслуживания их во время нахождения в базе.

Огромный положительный опыт, накопленный в результате эксплуатации реакторов с водой под давлением, подтвержден мировой практикой. Высокая отработанность технологии корпусных реакторов с водяным теплоносителем в транспортной и наземной атомной энергетике еще раз подтверждает мудрость решения и правильность выбора воды в качестве замедлителя и теплоносителя для основного варианта реакторной установки.

Развитие отечественных морских ядерных энергоустановок происходило совершенно независимо от зарубежных.

О том, что наши решения по морским установкам отличались оригинальностью, можно судить по более поздним публикациям.

Отечественные корабельные ЯЭУ имели меньшие массы и габариты на единицу мощности, что очень важно для морской установки; перегретый пар в энергосиловом контуре вместо насыщенного повышал КПД, упрощал турбину и ее систему регулирования, позволял иметь давление пара неизменным на всех уровнях мощности.

В процессе накопления опыта эксплуатации были исключены предохранительные клапаны первого контура, не обладающие должной надежностью. В ЯЭУ была применена газовая система компенсации вместо паровой, не требующая специальной системы регулирования. Органы регулирования реактивности и их приводы были построены на разных принципах в соответствии с их функциональным назначением, что сокращало вероятность отказа.

Реакторы со свинцово-висмутовым теплоносителем не имели аналогов за рубежом.

В стране накоплен большой опыт эксплуатации морских ядерных энергетических установок, на основе которого можно сделать ряд важных выводов:

1. Реакторные установки показали себя надежным источником энергии. Найдены решения, обеспечивающие высокую работоспособность установок. Произведено упрощение контуров, исключена на первом контуре арматура больших диаметров, применены новые материалы. Показательно, что основное оборудование сохраняет свою работоспособность в течение всего срока службы корабля, а заменяемое оборудование — до заводского ремонта. Поэтому однореакторные установки имеют такое же право на существование, как и двухреакторные.

2. Герметичное исполнение всего первого контура с минимальным количеством разъемных соединений, отсутствие сброса теплоносителя при разогреве и подпитки водой при расхолаживании существенно упрощает эксплуатацию.

3. В ранее выдававшихся технических заданиях не был охвачен этап снятия корабля с эксплуатации. В результате страна оказалась неподготовленной к нему. Из-за отсутствия достаточного количества хранилищ отработанного топлива и наличия проблем с выводом активных зон на заводы по переработке топлива многие выведенные из эксплуатации подводные лодки долгие годы остаются неразгруженными. Не были подготовлены участки временного хранения отработавших свой срок реакторных отсеков.

При выводе из эксплуатации ЯЭУ образуется значительное количество жидких и твердых радиоактивных отходов (ЖРО и ТРО). Но системы переработки жидких и оборудования для компактирования твердых радиоактивных отходов не были созданы. Практика же захоронения этих отходов в выбранных районах моря не решает кардинально эту проблему. В результате хранилища ЖРО и ТРО оказались переполненными.

4. В отличие от многих энергетических установок важную роль в ЯЭУ играет ее работа как на полной мощности, так и на режимах промежуточных мощностей.

5. В процессе эксплуатации было установлено, что морская вода — очень агрессивная среда для материалов реакторного оборудования, особенно находящегося в напряженном состоянии. Потребовались значительные усилия по устранению в реакторных отсеках источников морской воды и замене ее на пресную во всех контурах реакторного отсека. Пришлось применить специальную защиту оборудования от воздействия на него морской воды при случайном ее попадании. От ее следов оказалось необычно сложно очистить второй, энергетический, контур установки. Даже при полнопоточной очистке питательной воды на ионообменных фильтрах прямоточные парогенераторы из нержавеющей стали на морских установках выходили из строя уже через несколько тысяч часов работы. Пришлось их трубные поверхности делать из более коррозионно-стойких материалов.

6. Для морских установок специфичны условия безопасности. Главное для подводных лодок, чему подчинено все, — выполнение боевой задачи. Но и на подводной лодке, и на атомных ледоколах реактор на борту — это не только источник опасности, но и средство спасения корабля в критических условиях, когда требуется наличие энергии. Гибель корабля — всегда тяжелая радиационная авария, даже при исправном реакторе. Поэтому для морских установок была очень важна их надежность и живучесть в различных обстоятельствах.

Очень важным элементом радиационной безопасности был контеймент — герметичная выгородка реактора, изолированная перегородками внутри прочного корпуса лодки. Снаружи последствия аварии ограничивал еще и легкий корпус. Благодаря всему этому даже крупные радиационные аварии имели локальный характер.

Выявилась необходимость уделять особое внимание вопросам повышения безопасности при ремонтных и наладочных работах, перезагрузке топлива, т.к. аварии происходили в основном при проведении этих работ и гораздо реже — в процессе эксплуатации. Необходимое эксплуатационное вмешательство в ряд систем, ограниченное количество барьеров, препятствующих распространению радиоактивных продуктов, вынужденное порой вовлечение в работу людей, не всегда имевших должную подготовку, возможные организационные сбои в работе личного состава — все это требовало самого тщательного учета в решении вопросов безопасности.

Было признано необходимым в составе проекта иметь специальный раздел с техническим обоснованием безопасности (ТОБ), и не только реактора, но и всей энергетической установки, т.е. многие ее системы были существенны для обеспечения безопасности.

Важный элемент безопасности — высокая квалификация персонала. Пройдя тщательный отбор и специальную подготовку в учебных центрах, он должен пройти стажировку на рабочих местах прототипов и периодически совершенствовать навыки управления на тренажерах, особенно для отработки действий в аварийных условиях. Однако этих тренажеров до сих пор явно недостаточно.

7. Сильно упрощает эксплуатацию установок повышение ремонтпригодности оборудования и систем, чему в первых установках не придавалось должного значения.

8. Выявилась очень большая роль инфраструктуры — системы базового обслуживания, подготовки персонала, бесперебойного электро- и теплообеспечения, средств для обращения и переработки радиоактивных отходов, хранилищ отработанного топлива, обеспеченности запасными имуществом и принадлежностями для межподоходных ремонтов и достаточного количества ремонтных заводов.

Без должной инфраструктуры сильно увеличивается время нахождения корабля в базе, сокращается коэффициент продуктивного использования времени. Рациональная эксплуатация атомных подводных лодок должна обеспечиваться двумя полноценно подготовленными экипажами. А на самих подводных лодках также должны быть созданы достаточные условия для отдыха боевых смен в морских походах. Сейчас появляются предложения по революционному изменению облика корабельной ядерной энергетической установки. Конечно, разработку принципиально новых установок надо вести для создания необходимого научного задела. Но они будут отработаны лишь через 15-20 лет. А в эти годы надо совершенствовать существующие установки, проверенные в самых различных условиях эксплуатации, возможности улучшения которых еще не исчерпаны. Они еще долго и славно послужат Военно-Морскому Флоту.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ АТОМНОГО ФЛОТА

*Н. С. Хлопкин**

Флот военный и гражданский

Анатолий Петрович Александров сочетал в себе необыкновенные качества ученого, инженера, организатора и человека, позволившие ему сыграть выдающуюся роль в укреплении страны. Жизнь его была яркой, многообразной и удивительной, его творческая активность была неиссякаемой. Много сил он отдал флоту — военному и гражданскому.

Бескорыстная и трогательная любовь к флоту и любовь флота к А.П.Александрову родилась в предвоенные годы и укрепилась в годы Великой Отечественной войны. Эта привязанность сохранялась в течение многих лет, вплоть до последних дней его жизни.

Анатолий Петрович начал заниматься делами флота с 1932 года. Тогда с его участием была разработана система СОМ — электродуговой резак для прорезания подводной лодкой противолодочных сетей. Более крупной работой А.П.Александрова для флота, начатой в 1936 году, было создание системы защиты кораблей от магнитных мин. Под его руководством она внедрялась перед и в начале Отечественной войны на кораблях Балтийского, Черноморского, Северного флотов и Каспийской флотилии и спасла многие корабли и тысячи жизней моряков. Этим уже в то время Анатолий Петрович завоевал высочайший авторитет среди моряков.

А.П.Александров был одним из инициаторов применения атом-

* «А.П.Александров Документы и воспоминания», Российский научный центр «Курчатовский институт», Москва, ИздАТ, 2003 год.

ной энергетики на флоте. В 1948 году он внес в Спецкомитет, руководимый Берией, предложение о разработке подводных лодок с ядерными энергетическими установками. Но оно не было принято, так как существовала опасность отвлечения сил от решения основной проблемы — создания атомной бомбы. И только в 1952 году по предложению А.П.Александрова, И.В.Курчатова и Н.А.Доллежаля, поддержанному заместителем председателя СМ СССР В.А.Малышевым, вышло решение за подписью И.В.Сталина о разветвлении работ по созданию атомных подводных лодок.

Применение ЯЭУ коренным образом преобразило подводные лодки, усилив их боевые качества: скорость подводного хода, скрытность, дальность плавания и длительность пребывания под водой без всплытия на поверхность. Это было настоящей научно-технической революцией на флоте, изменившей роль подводных лодок, превратившихся в стратегический род войск. Открылись возможности их боевого использования в любых районах Мирового океана, включая покрытые льдом, на больших скоростях и глубинах, при большой автономности, ограниченной только физиологическими возможностями экипажа. Все это создало условия для усовершенствования вооружений, систем связи и управления боевыми действиями, жизнеобеспечения и безопасности плавания.

Анатолий Петрович обладал не только широкими и глубокими научными и инженерными знаниями, большим опытом и авторитетом, огромным личным обаянием, но и хорошо знал проблемы Военно-Морского Флота, задачи перспективного развития и осознал необходимость более глубокого использования фундаментальных научных основ, определяющих его техническое развитие. Он был человек высочайшей культуры и понимал, что наука и техника тесно переплелись и не могли существовать друг без друга.

И.В.Курчатов рекомендовал назначить А.П.Александрова научным руководителем реактора атомной подводной лодки, добавляя с присущим ему юмором, что он «очень подходит к этой роли, потому что знает массу никому не известных вещей, которые в этом случае могут оказаться очень полезными». Главным конструктором подводной лодки был назначен В.Н.Перегудов, главным конструктором реактора — Н.А.Доллежаль.

Став научным руководителем первой и последующих подводных лодок, А.П.Александров организует взаимодействие представителей флота, КБ, ученых, работающих в фундаментальной науке. Анатолий Петрович был в творческой дружбе со многими выдающимися учеными и конструкторами страны, особенно с кон-

структурами морских ядерных энергетических установок. Это способствовало решению многих организационно-технических проблем. При этом он оказывал влияние на решение практически всех научно-технических вопросов, возникавших в процессе как проектирования и строительства, так и эксплуатации корабля.

Сложнейшие проблемы, вставшие при создании морских установок, были решены в очень короткие сроки. Через шесть лет после начала проектирования была принята в эксплуатацию первая атомная подводная лодка. Многие решения, найденные при разработке первой морской реакторной установки, — корпусной реактор, герметичный первый контур, прямоточные парогенераторы, перегретый пар во втором контуре, бессальниковые насосы — оказались очень удачными и использовались в последующих реакторных установках военного и мирного назначения. Сейчас эксплуатируется несколько поколений атомных подводных лодок.

Первое поколение продемонстрировало техническую осуществимость создания мощных компактных реакторных установок, их безопасность. Они обеспечили уже нашей первой атомной подводной лодке преимущества по скорости перед американскими.

В становлении новой технологии было преодолено много трудностей. Сложной оказалась физика водо-водяных реакторов. Она существенно отличалась от физики уран-графитовых реакторов. Нужно было учитывать резкое изменение сечения рассеяния на воде нейтронов спектра деления, термализацию надтепловых нейтронов.

Трудные проблемы были решены и при разработке надежных высоконапряженных активных зон с требуемым энергозапасом. В исследовательском реакторе РФТ, введенном в действие в 1952 году в ИАЭ, под руководством В.В.Гончарова были испытаны самые разнообразные топливные композиции и конструкции твэлов. По результатам этих испытаний для активной зоны были выбраны твэлы с сердечником из диоксида урана. В наших реакторах диоксид урана был применен впервые. В дальнейшем повышение надежности и ресурса активных зон, работающих в экстремальных условиях — при высоких температурах и давлениях теплоносителя, в мощных нейтронных и гамма-полях, было проведено институтом, возглавляемым академиком А.А.Бочваром.

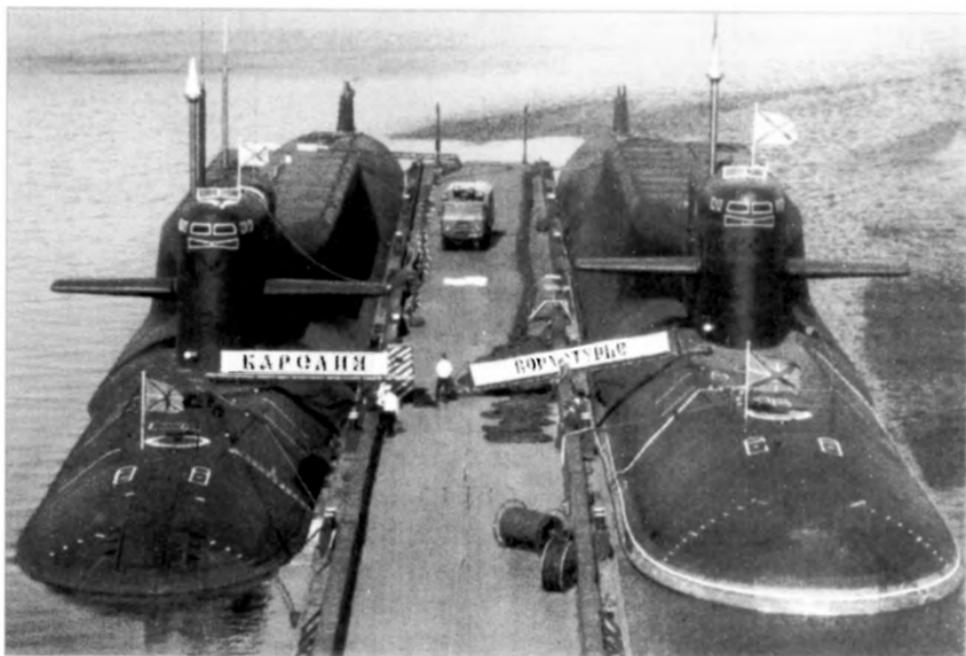
Теплоноситель реактора имел параметры, ранее не используемые в энергетике, в частности, очень высокие тепловые нагрузки и давление. Методика теплотехнических расчетов совершенствовалась по мере проведения экспериментов, выполнявшихся в ФЭИ под руководством В.И.Субботина и в ВТИ под руководством В.Е.Дорошука.



Первая атомная подводная лодка «Ленинский комсомол»



Многоцелевые подводные лодки (второе поколение)



Атомные ракетные подводные крейсера стратегического назначения
(второе поколение)



Подводная лодка с крылатыми ракетами
(третье поколение)



Тяжелый ракетный подводный крейсер стратегического назначения
(третье поколение)



В районе северного полюса



Тяжелый атомный ракетный крейсер



Атомный командно-измерительный комплекс «Урал»



Самая скоростная подводная лодка с крылатыми ракетами
($V=44,7$ узла)



Поздравляем с юбилеем Главкома ВМФ С.Г.Горшкова



В Севастопольском Военно-морском Инженерном Училище



Ведем Ю. Б. Харитона к его бюсту (парк Победы, Санкт-Петербург).
Ю. А. Тругнев, И. Д. Спасский, А. А. Бриш



На Московском заводе полиметаллов (справа — директор завода А.И.Андрюшин)

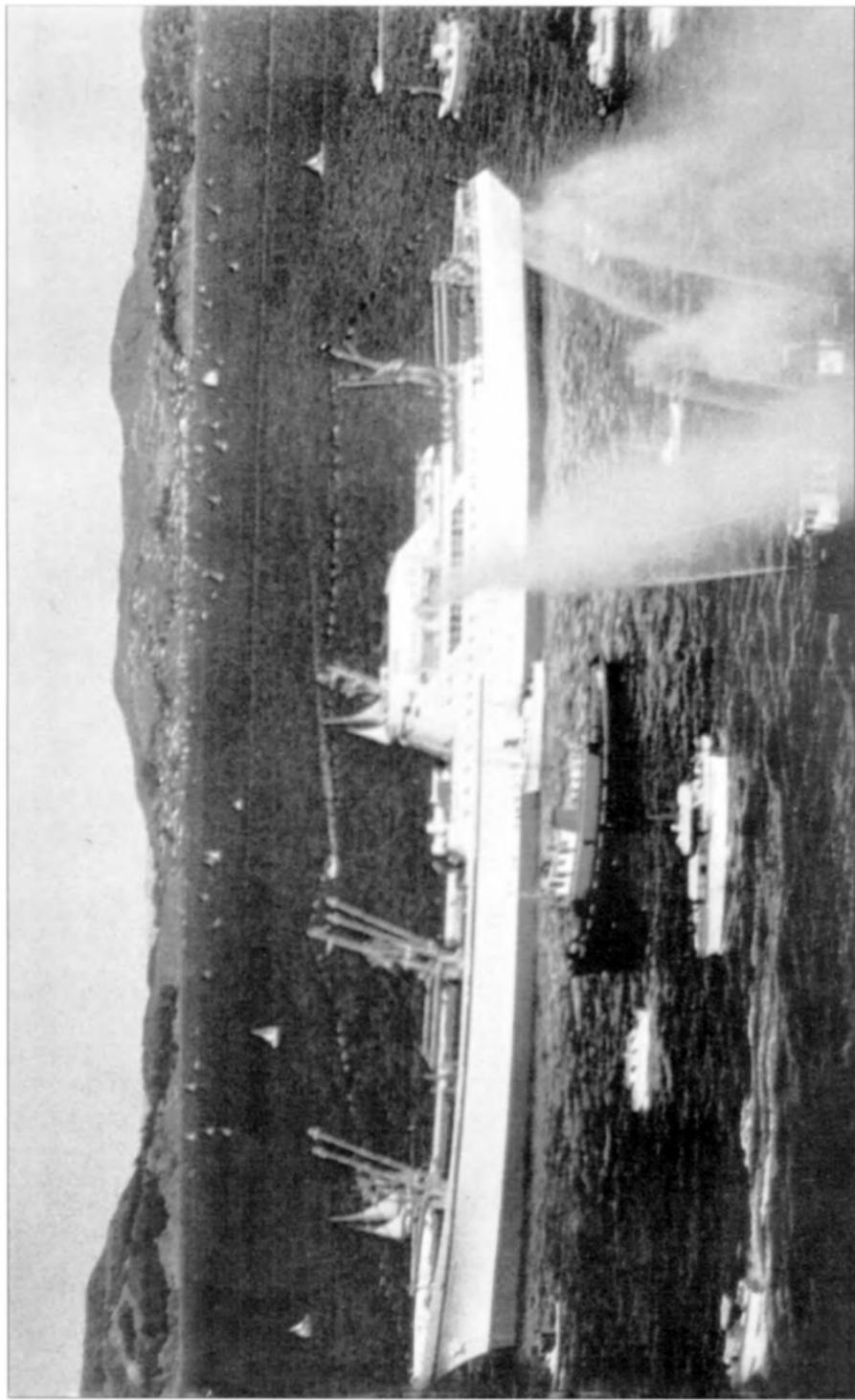


Целью успехов в работе, если она будет!
— Алексей Андреевич

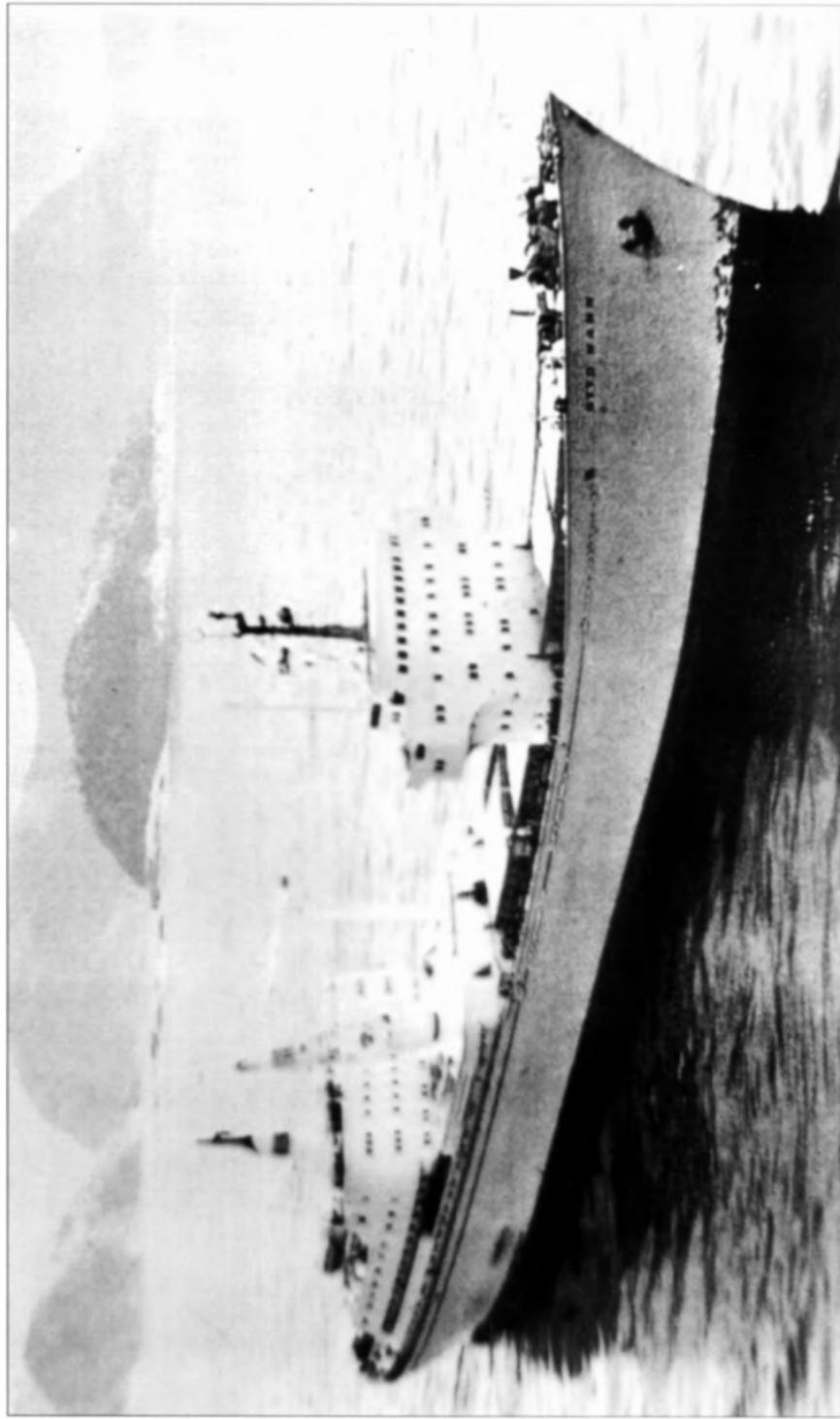
Флотские соратники



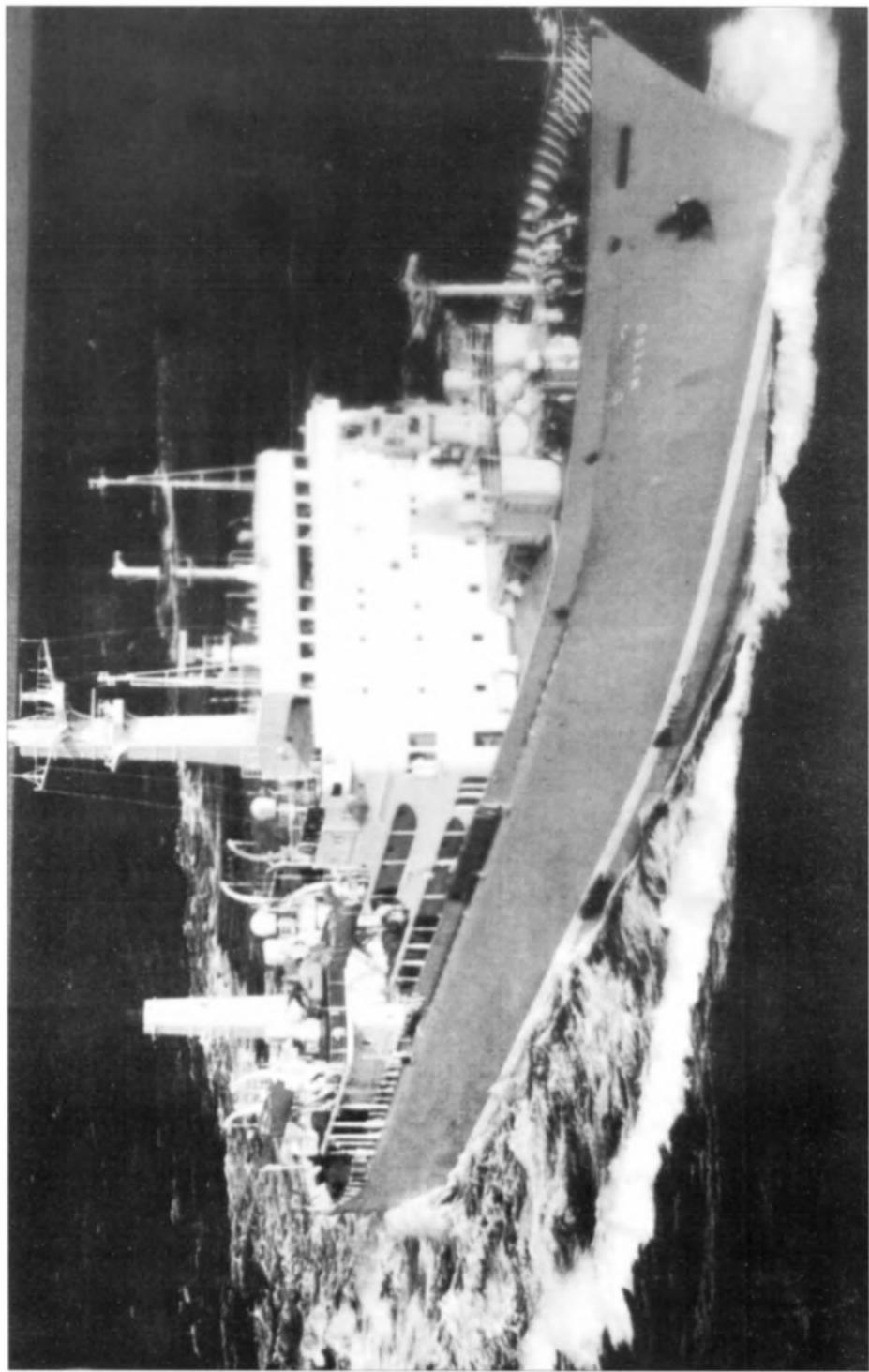
У тренажерного комплекса



Американское атомное грузо-пассажирское судно «Саванна» (1962—1970 гг.)



Немецкое атомное грузовое судно «Отто Хан» (1968—1980 гг.)



Японское атомное исследовательское судно «Муцу» (1974-1991 гг.)



В каюте «Саванны»



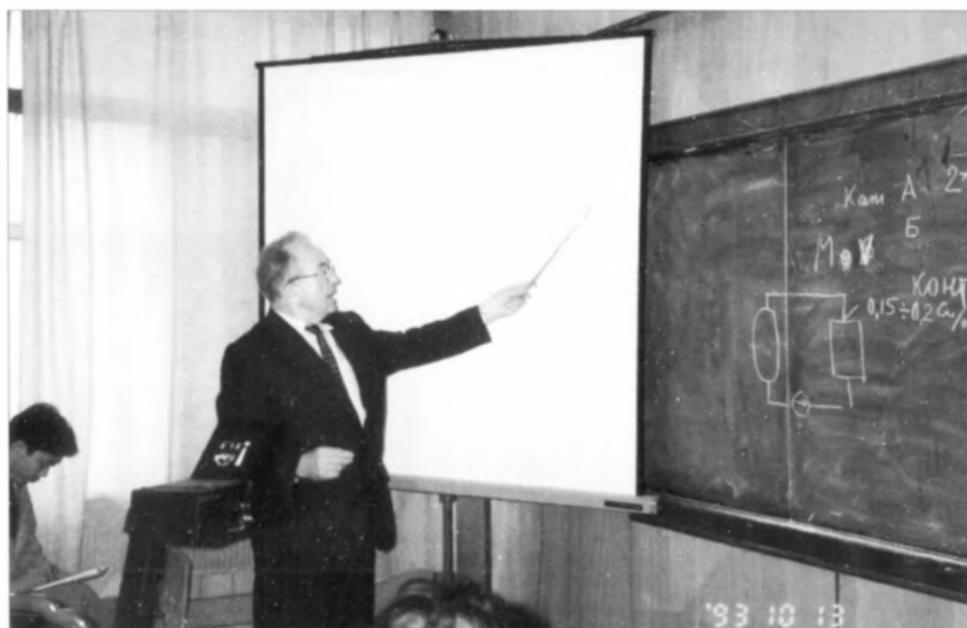
В Брюсселе. Делать свое дело
не взирая ни на что



В Гайд парке без тропинок



Последние дни в Индии



Читаю лекции в Китае



На Великой Китайской стене



В Японии

К сожалению, первые наши представления о теплообмене в этих условиях были слишком оптимистичны, пришлось вносить коррективы в процессе проектирования.

Камнем преткновения была сварка коррозионно-стойкой нержавеющей стали, требующая самого тщательного соблюдения регламента. Без освоения сварки нельзя создать герметичный первый контур. Ликвидация соревнования и сделщины, введение персональной ответственности за качество выполненной работы помогло решить этот вопрос. Большую роль в этом сыграл Е.П.Славский.

Затем всплыли проблемы работоспособности трубных систем из нержавеющей стали в парогенераторах, герметичных циркуляционных насосов с водяной смазкой подшипников и ряда другого оборудования. Они привели к тому, что новую технику пришлось выхаживать в процессе эксплуатации.хлопот хватало и научному руководителю, и главным конструкторам, и изготовителям оборудования, и судостроителям, но главная тяжесть легла на плечи личного состава. От представителей Северного флота, где эксплуатировались первые атомные подводные лодки, стали поступать доклады руководству ВМФ, в Правительство и ЦК КПСС о необходимости принятия срочных мер по совершенствованию техники. Была создана правительственная комиссия под руководством Начальника управления кораблестроения ВМФ вице-адмирала Г.Ф.Козьмина, которая совершила двухнедельный поход на подводной лодке и, рассмотрев имеющиеся недостатки в технике и управлении ею, пришла к выводу о возможности доведения надежности ядерной энергетической установки до требуемого уровня.

Наибольшие неприятности причиняла ранняя потеря герметичности парогенераторов, хотя на стенде-прототипе в Обнинске они работали удовлетворительно. А в морских условиях их ресурс оказался меньше в десятки раз. В это время в научных журналах появились сообщения, что стойкая к коррозии в химической промышленности нержавеющая сталь, из которой были изготовлены трубные системы парогенераторов, имеет склонность к коррозионному растрескиванию под напряжением в присутствии хлора и кислорода. Я доложил об этом А.П.Александрову, добавив, что, по-видимому, близкие условия существуют в наших парогенераторах.

Он потребовал в первую очередь ужесточить нормы по водно-химическому режиму. Меры были приняты и по другим направлениям: внесены изменения в схему ядерной энергетической установки, в конструкции оборудования, в технологические регламенты

управления установкой. Начались поиски новых более коррозионно-стойких материалов.

В результате произведенных усовершенствований уже в июле 1962 года подводная лодка проекта 627 смогла совершить подледный поход к Северному полюсу и достигла его, а к середине шестидесятых годов ресурсные показатели установки практически перестали служить ограничивающими факторами в эксплуатации атомных подводных лодок.

В связи со значительным расширением работ по атомному флоту в апреле 1962 года А.П.Александров назначил меня своим заместителем по морским атомным энергетическим установкам. Я считаю большой честью и счастьем для меня оказание такого доверия, я старался оправдать его в течение более 25 лет работы в этой должности. В какой мере удалось это — судить не мне.

В 1958 году ЦК КПСС и СМ СССР было принято постановление о разворачивании работ по созданию атомных подводных лодок *второго поколения*. Реакторные установки вобрали в себя весь опыт, накопленный первым поколением. Была повышена их надежность за счет более совершенного оборудования, резервирования его, упрощения и резкого сокращения разветвленности первого контура путем перехода от петлевой компоновки к блочной, устранения арматуры больших диаметров. Ремонтопригодность оборудования была повышена, улучшен доступ к нему. Повышен проектный ресурс, а затем и продлен в процессе эксплуатации. Повышен уровень автоматизации установок, особенно переходных режимов работы. Доля автоматического управления операциями возросла вдвое. Серьезные работы проведены по повышению безопасности реакторной установки. Была применена новая система управления, в результате отказ любого органа регулирования, в том числе и самого эффективного, не выводил реактор в аварийное состояние, и он мог продолжать работу на сниженной мощности.

Под научным руководством А.П.Александрова в это же время были разработаны и построены также атомные лодки с жидкометаллическим теплоносителем в первом контуре. Благодаря компактности мощной установки лодки имели малое водоизмещение и высокие скорости. Комплексная автоматизация здесь была осуществлена наиболее полно. Экипаж был сокращен примерно втрое.

Достижение жидкометаллического направления стимулировало работы по усовершенствованию реакторных установок с водяным теплоносителем. Было создано их *третье поколение*, вдвое повышены мощность и энергозапас активных зон без увеличения их

размеров, увеличен ресурс всего оборудования, снижена его шумность, повышена маневренность установок с одновременным упрощением систем управления, введена комплексная автоматизация.

Сейчас разработаны и строятся малозумные лодки с мощными установками *четвертого поколения*. Разрабатываются концепции установок *пятого поколения*. Есть разработки и в других областях морской энергетики.

В эксплуатации находятся четыре атомных тяжелых крейсера с ракетным вооружением. Строительство авианесущего атомного крейсера «Ульяновск» было прекращено в г. Николаеве с началом «перестройки».

Анатолий Петрович принимал самое активное участие в разработке долгосрочных программ кораблестроения на базе атомной энергетики, создания ЯЭУ для кораблей с учетом развития науки и комплексных научных исследований, обеспечивающих получение требуемых характеристик и боевых качеств корабля. Они разрабатывались практически для каждого поколения кораблей и предусматривали одновременно со строительством развертывание фундаментальных и прикладных исследований большого масштаба, поисковых работ, позволивших создать основы новых решений.

А.П.Александров был бессменным (более 40 лет) председателем межведомственной секции НТС МСМ по морской тематике. Она имела не только совещательный характер. Здесь вырабатывались решения основных проблем атомного флота, обсуждались планы работ по ядерным энергетическим установкам, их обеспечение, результаты проектирования, ввода в действие и опыт эксплуатации. По итогам обсуждения готовились решения, которые после утверждения ведомствами становились обязательными для исполнителей.

Огромную роль в совершенствовании ядерных энергетических установок сыграли стенды-прототипы, построенные в Обнинске, Палдиски под Таллином и Сосновом Бору под Ленинградом, где воспроизводился полный состав оборудования реакторного и турбинного отсеков будущей подводной лодки. Они позволяли комплексно проверить оборудование в работе по прямому назначению, выявить слабые места и исключить их в будущей энергетической установке, вести полноценную подготовку персонала. Анатолий Петрович руководил этими работами.

Большую роль в совершенствовании лодки в целом сыграли опытные подводные лодки, строительство которых А.П.Александров считал необходимым. Они имели новые качества в комплексе важнейших тактико-технических и боевых свойств подводных лодок:

скрытность, энерговооруженность, вооружение, скорость хода, глубина погружения, обитаемость, автоматизация, ядерная и радиационная безопасность

Первая отечественная АПЛ создавалась как опытная. Ее реакторы имели воду в качестве теплоносителя и замедлителя. В 1963 году вошла в строй опытная подводная лодка проекта 645 с реакторами, имеющими жидкометаллический теплоноситель, что позволило при низком давлении в первом контуре иметь температуру пара на 100 °С выше, чем в лодках с водо-водяными реакторами.

Опытная лодка проекта 661 с водо-водяными реакторами была введена в строй в 1969 году. Благодаря повышению мощности реакторов в два раза удалось достичь подводной скорости 44,7 узла (около 83 км/ч), которую до сих пор не превзошла ни одна подводная лодка в мире. Впервые для корпусов этой подводной лодки применен титан, что снизило водоизмещение и магнитные поля.

Опытная лодка проекта 705 вошла в строй в 1970 году. Теплоноситель реакторов — жидкий металл. Построена с учетом опыта эксплуатации АПЛ проекта 645. Главной задачей было создание высокоскоростной подводной лодки малого водоизмещения с комплексной автоматизацией вооружения и технических средств, что давало возможность управлять ими с единого командного поста. Достигнута подводная скорость 42 узла (около 75 км/ч). Закреплен опыт применения титановых сплавов. Апробирована электроэнергетическая система с частотой 400 Гц. Впервые применена всплывающая рубка, предназначенная для спасения экипажа в экстремальных условиях.

Опытная лодка проекта 685, у которой реактор имел теплоносителем воду, введенная в 1983 году, открывала новые пути освоения больших глубин (до 1000 м).

Строительством опытных подводных лодок удалось поднять и удержать военное кораблестроение на современном техническом уровне.

Безопасности и надежности морских ядерных энергетических установок с самого начала уделялось особое внимание. В первую очередь это обеспечивалось высоким качеством изготовления оборудования и отработкой головных образцов реакторных установок на наземных стендах-прототипах, на которых все оборудование, все эксплуатационные режимы прошли проверку, прежде чем попасть на корабль. Важным элементом безопасности была и есть высокая квалификация персонала. Пройдя тщательный отбор и специальную подготовку в учебных центрах, персонал стажировался на рабочих

местах стендов-прототипов. Навыки управления, особенно в аварийных режимах, отрабатывались на тренажерах.

К сожалению, не удалось избежать аварий на флоте, эксплуатирующем очень большое число реакторов. Количество и суммарная наработка в реакторо-годах превышает примерно на порядок количество и наработку всех отечественных атомных электростанций, вместе взятых. Аварии в основном происходили не при эксплуатации установок, а во время ремонтных и наладочных работ, при перегрузке топлива, когда вовлекались в работу новые люди, не всегда имеющие должную подготовку. Среди этих аварий были и крупные.

Благодаря тому, что активные зоны обладали обратной отрицательной связью по температуре топлива и замедлителя, а реакторные установки имели защитное ограждение в виде герметичной выгородки и были заключены в контеймент — прочный корпус, а снаружи был еще и легкий корпус, даже крупные аварии имели локальный характер. Погибли четыре отечественные атомные подводные лодки. Одна из них поднята, а три покоятся на дне моря. За радиационной обстановкой вокруг них ведется тщательный контроль. Сколько-нибудь существенного выхода радиоактивных нуклидов в море не обнаружено.

Анатолий Петрович неоднократно бывал на вводимых в строй кораблях, на заводах-строителях кораблей, военно-морских базах. В ряде их установлены мемориальные доски. Совершал на кораблях и плавания.

В 1953 году И.В.Курчатов и А.П.Александров выступили с предложением начать создание атомных ледоколов. Они считали, что огромные средства, вложенные в атомную промышленность и оружие, а затем в Военно-Морской Флот, должны быть использованы в гуманных целях — применены для гражданской атомной энергетики судов и атомных электростанций. Анатолий Петрович стал одним из инициаторов создания и научным руководителем атомного гражданского флота.

В 1953 году вышло соответствующее постановление правительства по атомным ледоколам. Первый из них — атомный ледокол «Ленин» — был принят в опытную эксплуатацию в 1959 году. Главный конструктор ледокола — В.И.Неганов, главный конструктор реактора — И.И.Африкантов, научный руководитель — А.П.Александров. Атомный ледокол «Ленин» открыл новую эру в использовании Северного морского пути и превращении его в надежно действующую магистраль. Он проработал очень эффективно 30 лет,

в 1990 году выведен из эксплуатации. Всего построено восемь атомных ледоколов, девятый — находится на стапеле Балтийского завода. В море осуществляли проводку судов линейные ледоколы «Арктика», «Сибирь», «Россия», «Советский Союз», «Ямал» мощностью 75 тыс. л.с. каждый. В устьях сибирских рек, куда линейные атомные ледоколы не могли пройти из-за малых глубин, действовали дизельные ледоколы. В суровые зимы они часто оставались без топлива и даже пресной воды, что срывало плановые перевозки. Появление в устьях рек построенных совместно с финнами атомных ледоколов «Таймыр» и «Вайгач», имеющих малую осадку, но достаточную мощность — 50 тыс. л.с., коренным образом изменило обстановку и здесь.

Атомные ледоколы превратили Северный морской путь в нормально действующую магистраль. В западном секторе Арктики навигация стала круглогодичной. Была продемонстрирована высокая надежность энергообеспечения ледоколов, их ядерная и радиационная безопасность для экипажей, портов и морей, большой ресурс оборудования. На атомном ледоколе «Арктика» установка проработала 143,2 тыс. часов на мощности без крупного заводского ремонта за 26 лет.

Столь мощный ледокольный флот, включающий и большое количество дизельных ледоколов, для успешной работы требует и соответствующего транспортного флота. Эффективность ледоколов сильно возрастает при увеличении грузоподъемности проводимых судов. В последние годы положение улучшилось благодаря появлению большой серии судов типа «Норильск», имеющих водоизмещение 25 тыс. т. Но все-таки атомным ледоколам наиболее соответствуют крупные атомные грузовые суда. И такое судно было построено в 1988 году — атомный лихтеровоз «Севморпуть» водоизмещением 61 тыс. т с большой ледопроеходимостью. Он может самостоятельно идти во льду толщиной до 1 м. Сейчас «Севморпуть» успешно работает на трассе Кольский полуостров — Дудинка, высвободив два крупнотоннажных судна для других задач. Опыт эксплуатации «Севморпути» очень пригодится для развития атомного транспортного флота, перспектива которого на Севере в последние годы четко определилась в связи с возросшими трудностями обеспечения флота органическим топливом: оно не только дорожает с каждым днем, но и подчас его совсем нет.

Большие возможности атомных ледоколов в освоении Северных морей и их богатств были наглядно показаны походом к Северному полюсу в 1977 году атомного ледокола «Арктика», возглавляемом

капитаном Ю.С.Кучиевым. А.П.Александров, требовавший во всех делах надежного обеспечения, считал, что с этим походом надо бы повременить, дождаться достройки атомного ледокола «Сибирь». Возможности атомного ледокола «Ленин» помочь выбраться атомному ледоколу «Арктика» из тяжелых льдов были ограничены ввиду существенно меньшей его мощности. Это мнение А.П.Александрова, находившегося тогда в дельте Волги в отпуске, руководство походом узнало, когда подготовка к походу практически была завершена, «раскрутить машину» в обратную сторону было очень сложно. Мурманское морское пароходство решило пригласить к участию в походе меня на случай, если в реакторной установке появятся какие-либо неисправности, но таковых не возникло. После возвращения из похода А.П.Александров сердечно поздравил сначала мою маму, которая взяла телефонную трубку, а затем и меня с успешным завершением похода, добавив: «Вот видишь, стоило меня не послушаться, как ты сразу стал героем».

Сейчас походы к Северному полюсу стали регулярными, иногда даже по нескольку раз в год.

Кроме развития Северного морского пути гражданский атомный флот внес большой вклад в проверку эффективности новых решений по оборудованию ЯЭУ. По-видимому, в хорошо организованной конверсии военной техники это не должно быть исключением, а должно стать хорошим примером.

В ближайшие годы ледокольные установки предполагается использовать на плавучих АЭС и станциях для опреснения воды. Размещение АЭС на воде сокращает время постройки благодаря их созданию, отладке и полной проверке характеристик в обжитых районах, буксировке в практически готовом виде потребителю. Степень необходимого обустройства площадки здесь гораздо ниже, чем в наземном варианте. Меньше будут и площади отчуждаемых земель под санитарно-защитную зону. Ремонтные работы на таких станциях могут производиться на специальных базах обслуживания, куда АЭС могут направляться по мере надобности.

В соответствии с должностью Президента Академии наук СССР А.П.Александров был руководителем многочисленных комиссий АН.

По традиции, Академия наук не возглавляла исследования в интересах обороны, даже в случае ее активного участия в ряде направлений работ. Между тем путь развития науки во многих областях лежал через разрешение проблем оборонного характера. Став президентом, Анатолий Петрович усилил сотрудничество институтов Академии с флотом, в частности по решению вопросов скрытности

действий подводных лодок, освещения подводной обстановки в Океане, бортовых акустических систем обнаружения, повышения скоростей подводных лодок.

По этим вопросам работали Научный совет по гидродинамике, руководимый академиками М.А.Лаврентьевым и Л.И.Седовым и Научный Совет по гидрофизике, которым последовательно руководили академики Б.П.Константинов, А.П.Александров и А.В.Гапонов-Грехов. А.П.Александров возглавил этот совет уже будучи научным руководителем атомного флота страны. На Научный совет по гидрофизике было возложено решение задач противолодочной обороны, в том числе разработка принципов обнаружения подводных лодок по физическим полям: акустическому, магнитному, электромагнитному, гидродинамическому, и создание на этой основе бортовой, космической и другой аппаратуры.

Одновременно это давало возможность выработки рекомендаций по повышению скрытности отечественных подводных лодок.

Научный совет по гидрофизике под руководством А.П.Александрова работал очень результативно. По предложению Совета был создан в Академии наук Институт прикладной физики, который стал головным по вопросам гидрофизики. Были организованы и научные подразделения в других институтах Академии наук и более широко привлечены к работам отраслевые научно-исследовательские и конструкторские организации.

При Анатолии Петровиче стала активнее работать секция прикладных проблем АН — орган Министерства обороны в Академии наук.

Однако завеса секретности в значительной степени отделяла большую науку от работ оборонного направления. В частности, для флота и Министерства среднего машиностроения отчуждение до сих пор не ликвидировано.

Благодаря научному руководству А.П.Александрова и его личному вкладу в стране был создан современный атомный флот, который по числу атомных подводных лодок превосходил все флоты мира, вместе взятые, и уникальный атомный ледокольный флот, решивший важные народнохозяйственные задачи страны.

Стиль работы

А.П.Александров неоднократно говорил, что привык к ответственности за порученное дело, привык доводить дело до конца и прежде всего руководствоваться государственными интересами. Он не терпел недодуманности, недоделанности в работе, считал важным хорошо работать самому, но еще важнее — научить или заставить хорошо работать других.

Залогом успеха, по его мнению, являлось создание творческой атмосферы в совместных работах различных коллективов — НИИ, КБ, промышленных предприятий и заказчиков — ВМФ, ММФ и др.

Огромное значение он придавал эксперименту. Мощная экспериментальная и опытная база была создана в Курчатовском, Физико-энергетическом институтах, во многих КБ и на заводах-строителях атомных кораблей для отработки и проверки работоспособности и ресурса оборудования. В Курчатовском институте использовались материаловедческий реактор — для отработки тепловыделяющих элементов и вопросов радиационной стойкости материалов; специальный реактор для исследований материалов для биологической защиты, многие критические сборки.

Вместе с тем Анатолий Петрович не допускал чрезмерного разрастания экспериментальной базы в Курчатовском институте. Наиболее крупные установки создавались в организованных им филиалах, которые вскоре становились самостоятельными институтами. Таким образом была создана Государственная испытательная станция морской ядерной энергетики со стендами-прототипами в Сосновом Бору (ныне НИТИ им. А.П.Александрова).

Особое внимание он уделял вопросам отработки активных зон реакторов. На критических стендах Института изучались проблемы физики реакторов, критических масс, замедления нейтронов, формирования энергетического спектра нейтронов, вопросы поглощения нейтронов и эффективности поглощающих материалов.

Проверка характеристик активных зон, поставляемых на объекты, была многократной. Комплектация каждой серийной активной зоны производилась на критстендах завода-изготовителя. Отсюда активные зоны направлялись на завод-строитель кораблей, на критстенде которого вторично проверялись реперные характеристики топливной загрузки реактора. Окончательно паспортные данные активных зон уточнялись при физическом пуске реакторной установки на корабле или судне. Многоступенчатая проверка диктовалась необходимостью убедиться в том, что индивидуальные

особенности реактора, органов регулирования и экранных сборок, образующих отражатели, не вызовут изменения реактивности топливной загрузки сверх установленных пределов.

Правилом Анатолия Петровича было проведение расчетов в «две руки» и по разным методикам. Например, физика первых активных зон морских реакторов рассчитывалась параллельно в ИАЭ и ФЭИ. В ИАЭ применялась аппроксимационная двухгрупповая методика расчета физики реакторов, в которой ряд констант уточнялся по результатам эксперимента.

Анатолий Петрович привлек к расчетам Г.И.Марчука, работавшего в ФЭИ и использовавшего для расчетов активных зон многогрупповую методику, физически более ясную, но требующую хорошего знания констант. Однако к тому времени ряд важных констант был известен со значительной погрешностью. Кроме того, эта методика не учитывала и важных особенностей водо-водяных реакторов. Более надежные результаты были получены по простой аппроксимационной методике, откорректированной по значительному количеству экспериментов.

А.П.Александров приучал реакторщиков к детальному и постоянному участию в решении конструкторских проблем, учил видеть инженерные особенности морских установок и владеть ими, знать не только физику, но и технику, тщательно разбираться в чертежах и схемах, относящихся к ядерной энергетической установке, знать ее оборудование, так как считал, что объединение расчетной, экспериментальной и конструкторской деятельности приносит важные результаты. Сам он внимательно изучал чертежи, особенно если возникали проблемы в конструктивных решениях. Внимание к деталям — важная черта Анатолия Петровича. Не пренебрегать мелочами, за которыми может скрываться совершенно неожиданный результат.

Знание и возможности разбираться в чертежах и схемах создавали у сотрудников условия для общего языка с работниками КБ и заводов: достаточно было сообщить, что прибыли по поручению А.П.Александрова, и вопросы решались без всяких проволочек.

Анатолий Петрович каждому находил дело по плечу, умел заинтересовать сотрудника и побудить к творческому труду. Он обладал удивительной проницательностью и сразу определял способности и возможности человека: что можно ожидать от него на том или ином месте. И редко ошибался.

Интуиция, которой он обладал, проявлялась и в инженерных делах. Первая активная зона для реакторов подводных лодок имела положительный температурный коэффициент реактивности в

исследованном диапазоне температуры до 90 °С. Температурный коэффициент реактивности при более высокой температуре измерить нельзя — не было соответствующего корпуса на высокие давления. В области рабочих температур (250—300 °С) температурный коэффициент реактивности должен быть обязательно отрицательным, что обеспечивало саморегулирование и стабильную работу реактора при эксплуатации. На основании ограниченных данных при температуре до 90 °С Анатолий Петрович по интуиции заключил, что при рабочей температуре коэффициент будет отрицательным. И это было подтверждено специальным экспериментом посредством засыпки активной зоны сахарным песком, в котором плотность водорода в 1,7 раза меньше, чем в воде при комнатной температуре. Окончательно значение отрицательного температурного коэффициента реактивности в рабочей области параметров было определено прямыми измерениями в штатном корпусе реактора, позволявшем нагреть теплоноситель до рабочей температуры.

В решение сложных проблем по созданию флота Анатолий Петрович обязательно вносил элементы соревнования, чтобы участники работы стремились найти лучшее решение.

Я не думаю, что А.П.Александров был горячим приверженцем применения жидкого металла в качестве теплоносителя на подводных лодках. Скорее наоборот — он считал достаточным базировать строительство атомного подводного флота на реакторах с водой под давлением. И в атомных флотах других государств применялись только такие реакторы. Тем не менее, он поддержал создание лодочных реакторов с теплоносителем свинец-висмут, авторы которых полагали, что они имеют преимущество перед реакторами с водой под давлением.

Лодки с жидкометаллическим теплоносителем были созданы небольшой серией в период, когда возникли трудности с обеспечением работоспособности парогенераторов в водяных реакторах. Конечно, при наличии резервного решения утрачивается фактор одного монопольного направления и появляется «дружеская» конкуренция. Так и здесь — появление жидкометаллических реакторов дало мощный толчок развитию реакторов с водой под давлением. В результате характеристики последних по компактности, ресурсу, надежности и степени автоматизации были улучшены настолько, что на третьем поколении подводных лодок нашли применение только реакторы с водой под давлением.

Другой пример развития творческой обстановки—организация своего рода параллельной работы ИАЭ — научного руководителя

по реакторным установкам — и конструкторского бюро ОКБМ. Как я отмечал, от сотрудников Института требовалось, кроме решения вопросов физики, теплофизики, радиационной и ядерной безопасности, детальное знание конструкции ЯЭУ и участие в межведомственных испытаниях не только установки, но и относящегося к ней оборудования — насосов, приводов, арматуры и т. п. С другой стороны, в ОКБМ для ведения нейтронно-физических экспериментов и обработки активных зон были сооружены критические стенды, хотя в ИАЭ таких стендов было предостаточно. Создавалась серьезная взаимная проверка решений по всему комплексу вопросов по активным зонам. При этом одновременно соблюдалось правило работать в «две руки». Система взаимного контроля формирования оптимальных решений действовала эффективно.

А.П.Александров придавал большое значение развитию взаимодействия между НИИ и КБ — с одной стороны, а с другой — действующим флотом, которому приходилось доводить ядерные энергетические установки на кораблях. Недостатки и недоработанность отдельных конструкций ложились тяжелым грузом на их плечи. Анатолий Петрович сам часто бывал на кораблях и внимательно рассматривал вопросы, возникавшие у личного состава, подсказывал наиболее разумное решение. Даже если случалась неприятность, он умел внушить личному составу веру в успех. Командиров подводных лодок, капитанов и главных механиков атомных ледоколов приглашал к себе в гости. Они писали ему письма. По возникавшим вопросам давал поручения сотрудникам и Института, и КБ, работникам Минсредмаша и других ведомств.

Для более тесной связи с флотом в ИАЭ были созданы инженерная и физическая лаборатории для выработки рекомендаций по устранению недостатков оборудования и работе установок в режимах, не предусмотренных в проектах, анализа работоспособности активных зон и изыскания путей повышения их энергозапаса и ресурса. Был также усилен авторский надзор со стороны КБ. Все это позволяло получать достоверные сведения о фактическом состоянии установок и их недостатках. Иногда сведения были неприятны, но Анатолий Петрович органически не принимал вранья и подтасовки данных. От сотрудников, которые были замечены в этом, он немедленно избавлялся. Так был уволен научный сотрудник, который для получения нужной кривой опустил одну экспериментальную «точечку» пониже. При малейшей фальши он утрачивал интерес к сотрудничеству практически навсегда.

К любой документации А.П.Александров подходил очень ответственно. За его подписью уходили только те письма, которые он внимательно прочитал и откорректировал. Бывало стыдно, когда при прочтении документа он вдруг поднимал голову и смотрел в глаза. «Анатолий Петрович, что, опять ошибка?» На это он обычно не отвечал, а сразу правил документ.

Он обладал завидным чувством юмора и любил подшутить не только над своими сотрудниками и коллегами, но и над высоким начальством, но и понимал юмор, обращенный в свой адрес. Хотя наши шутки нельзя считать изящными. Когда венгерское правительство наградило его орденом за содействие развитию атомной энергетики, мы так откликнулись на это событие: «Поздравляем Вас с высокой наградой за деятельность в пользу иностранной державы!» Когда Анатолия Петровича избрали президентом Академии наук СССР, мы поздравили его, сказав, что гордимся тем, что в своей среде воспитали президента.

А.П.Александров обладал огромной работоспособностью. Его обычный рабочий день длился 12 часов без обеда и признаков усталости. Даже большая семья, встречавшая его дома лозунгом «За десятичасовой рабочий день!», не могла заставить беречь свое здоровье.

Он был очень щепетилен в авторстве и часто отказывался от соавторства даже в тех работах, где он сыграл существенную роль. Особенно это относилось к оформлению авторских свидетельств на изобретения. К изобретениям он вообще относился с предубеждением, считая, что в новых разработках оформление свидетельств на изобретения и на этой основе получение каких-то дополнительных вознаграждений неправильно. В этом случае научные сотрудники и конструкторы будут заведомо выдавать некачественную продукцию, чтобы в дальнейшем произвести ее усовершенствование, оформив это в виде изобретений.

Сомнения в правильности такого утверждения есть, однако вот с чем пришлось столкнуться на практике. Причиной ряда аварий было внесение и принятие предложений по упрощению конструкций, технологии их изготовления, замене материалов, внесение изменений в инструкции по проведению работ, не прошедших нормальный путь рассмотрения и утверждения. Поэтому при разборе причин выхода из строя того или иного оборудования приходится смотреть — не была ли здесь произведена «рационализация».

Анатолий Петрович был человеком обаятельным. Его демократизм при общении с людьми независимо от ранга был практически беспредельным — и на работе, и в компаниях, и в застольях.

Он всегда успевал поздороваться первым. Никогда не допускал, чтобы ему подавали или помогали надеть пальто. Старался раздеваться в общем гардеробе на определенном месте, а не в кабинете. Последнее позволяло идущим к нему на прием сотрудникам сразу определять, на месте ли он, и секретарям не удавалось скрыть его присутствие в Институте.

Анатолий Петрович уважал людей и готов был помочь им в любую минуту, будь это просьба о жилье, дефицитных лекарствах, лечении. Но сотрудники не очень этим злоупотребляли. Он даже говаривал, что его мало используют.

На людях появлялся почти всегда без наград. Большого труда стоило его уговорить надеть награды для «парадной» фотографии.

Очень не любил говорить по «бумажке», чем часто шокировал высоких чиновников, которые привыкли регламентировать любые выступления. В ходу была шутка: «Видно, Анатолий Петрович неграмотный, не умеет читать».

Работа с Анатолием Петровичем — не только огромная научная школа, но еще и важная жизненная школа.

Подготовка реакторщиков

Я впервые встретился с А.П.Александровым в 1947 году, когда он организовал в Московском энергетическом институте физико-энергетический факультет (вначале он назывался факультетом № 9) для подготовки реакторщиков.

Анатолий Петрович был идеологом нового подхода в обучении студентов, новой системы инженерно-технического образования. Готовили инженеров-исследователей, инженеров с глубоким знанием физики. При этом требования к освоению общеинженерных дисциплин и практическому применению полученных знаний не снижались. Большое количество лабораторных работ. Еще больше домашних заданий, результат которых надо было получить в виде числовых значений. Все это традиционно для МЭИ. Но одновременно была расширена теоретическая подготовка. Теоретические курсы читали выдающиеся ученые: по теории реакторов — С.М.Фейнберг и А.М.Розен, по общей физике — В.А.Фабрикант, по термодинамике — М.П.Вукалович, В.А.Кириллин и И.И.Новиков, по теплопередаче — М.А.Михеев, по ядерной физике — А.Д.Сахаров, по теоретической механике — Р.Д.Шафаревич.

Лекции сопровождалась семинарами, где обсуждались следствия, вытекающие из основных теоретических положений. Семинары, как

правило, проводились в Институте физических проблем АН СССР, директором которого в то время был Анатолий Петрович.

На пятом и шестом курсах студентам были выделены, в дополнение к выходному, два свободных дня. Мы с юмором называли их днями самоутрубления. На самом деле в эти дни студенты практиковались в Лаборатории № 2, как тогда назывался Курчатовский институт, или в Институте физпроблем на должностях лаборантов, выполняя на установках плановые работы этих учреждений. Смотреть результаты заходили И.В.Курчатов и А.П.Александров. Все вместе обсуждали опыты, которые велись здесь же. Студенты сразу «погружались» в атмосферу творчества и высокой ответственности. Позднее мы поняли, что обращение руководителей непосредственно к исполнителям для получения данных из первых рук было здесь традиционным.

Прошедшие такую школу выпускники имели серьезную подготовку к практическим работам и сразу же включались в производственный процесс.

Для дипломных проектов студентов-реакторщиков выбирались темы, позволявшие оценить перспективы атомной энергетики в различных отраслях народного хозяйства и обороны. Первый и второй выпуск реакторщиков физико-энергетического факультета в дипломных проектах рассматривал атомные электростанции различной мощности с различными типами реакторов. Третий выпуск — корабли с ЯЭУ (от подводных лодок до линкоров) и гражданские суда. Четвертый выпуск представил дипломы с реакторами для самолетов и ракет различных классов и атомных электростанций с разного типа реакторами. Пятый выпуск — оригинальные исследовательские реакторы. Четвертый и пятый выпуск заканчивали образование уже в МИФИ, куда был переведен физико-энергетический факультет МЭИ. Дипломные проекты выполнялись в Институте физпроблем и Лаборатории № 2. Неизменным председателем Государственной экзаменационной комиссии был А.П.Александров.

Но этим подготовка не заканчивалась. Обязательно надо было пройти стажировку на нескольких действующих реакторах, которая завершалась сдачей экзамена на рабочее место инженера по управлению реактором. Сначала на материаловедческом реакторе МР Лаборатории № 2, затем — на Первой в мире АЭС и, наконец, на наземном стенде-прототипе первой атомной лодки в Обнинске.

В дальнейшем молодые специалисты включались в состав комплексных бригад, направляемых на опытные и головные подводные

лодки, крейсера и ледоколы для участия в пусконаладочных и комплексных швартовных испытаниях. Цель испытаний — подтверждение проектных характеристик установки — статических, динамических, исследования протекания некоторых аварийных режимов, систем защит и блокировок, саморегулирования и поддержания режимов автоматикой, определение достаточности биологической защиты и многое другое.

Костяк бригады состоял из квалифицированных специалистов различного профиля, так как наладочные и комплексные швартовные испытания были подчас непростыми, с неожиданностями — ведь многое делалось в первый раз. Это расширяло кругозор молодого специалиста и давало возможность определить место и значение той работы, которую он выполнял в общем объеме. Появлялась прекрасная возможность увидеть и инженерную сторону работ.

Такая практика оправдалась. Выпускники физико-энергетического факультета МЭИ и МИФИ в дальнейшем заняли руководящие посты на предприятиях, в КБ и научных учреждениях Минатома. Из нашей группы (10 человек) вышло три кандидата технических наук, шесть докторов технических наук и один академик.

Анатолий Петрович совместно с командованием ВМФ организовал и внимательно следил за подготовкой кадров моряков, лично принимал у них экзамены. После окончания училищ моряки продолжали подготовку по своим специальностям в учебных центрах, а затем проходили стажировку на стендах-прототипах в Обнинске, Палдиски и Сосновом Бору. Стажировка заканчивалась получением допуска к управлению на рабочем месте.

Специалисты физических лабораторий береговых баз и заводостроителей проходили дополнительную подготовку в Курчатовском институте по ядерной и радиационной безопасности с получением удостоверения на право ведения этих работ по месту службы, Анатолий Петрович в течение 15 лет лично их подписывал.

Особое внимание Анатолий Петрович уделял подготовке главных механиков атомных ледоколов, отвечающих за работу главной энергетической установки и решающих все вопросы, возникающие в плавании, практически самостоятельно. В первые годы он принимал у них экзамены лично, а одного из главных механиков заставил защитить кандидатскую диссертацию. В дальнейшем в Институте были организованы специальные курсы лекций для главных механиков и главных физиков всех ледоколов с переподготовкой через три года.

В беседах с командирами кораблей и капитанами ледоколов, которые А.П.Александров подчас проводил дома, он подчеркивал важность человеческого фактора в обслуживании новой техники, сплочения экипажа. Понимал, что экипаж — особое сообщество. Это — единая семья, в которой каждый человек не просто единица, выполняющая определенную функцию, а плечо и опора соседа. В море, особенно в начале развития аварийных событий, можно рассчитывать только на собственные силы. Как поется в морской песне:

«И всем экипажем морскому помолимся Богу,
хоть знаем, что нам кроме нас не поможет никто».

Когда рискуют своей жизнью и жизнью соседа, между людьми устанавливаются крепкие связи, прочнее семейных. На корабле каждый должен уметь заменить другого — и выше, и ниже, и рядом, чтобы сознательно и добровольно выполнить задачу. И у танкиста, и у летчика, и у моряка надводного корабля есть шанс на спасение, когда гибнут танк, самолет или надводный корабль. У подводника такого шанса практически нет, если гибнет подводная лодка. Моряки остро ощущают брэнность бытия. Пословица гласит: «Спущен корабль на воду — сдан Богу на руки».

Нигде нет такого равенства перед судьбой, как на подводной лодке: либо все побеждают, либо знают, что во многих случаях спасение невозможно. Поэтому моряки отличаются такой сплоченностью. В 1918 году, когда создавалась Красная Армия на добровольной основе, партия предписывала на каждую тысячу добровольцев выделить в целях спайки по взводу моряков.

Совершали моряки и ошибки — из песни слова не выкинешь. На этот счет у Анатолия Петровича была твердая позиция: более полезно не наказание за ошибку, а тщательный разбор всего относящегося к ней. Совершивший ошибку, прежде всего, накажет сам себя, ибо от этого страдают в первую очередь он сам и его товарищи. И это сильное наказание, особенно если за ошибку тяжело расплачиваются члены экипажа. Но есть и техническая сторона этого дела. Только при таком отношении к ошибкам можно выявить слабые стороны новой техники и усовершенствовать ее, сделав более устойчивой.

А.П.Александров в истории создания ядерных технологий принадлежит к числу национальных сподвижников, обеспечивших России статус сверхдержавы. Его творчество в значительной мере имело военный аспект. Военная направленность была вынужденной

и сугубо оборонительной. Он видел нависшую над страной опасность военных угроз после атомных бомбардировок Хиросимы и Нагасаки. США, используя свою ядерную монополию, разрабатывали планы ядерного нападения на наши города. А.П.Александров включился в создание мощных промышленных реакторов, вырабатывающих плутоний для ядерного оружия, которое делало невозможным ядерное нападение на нашу страну. Под его научным руководством создавался океанский атомный военно-морской флот для обеспечения паритета с США по ядерным вооружениям. Здесь он проявил себя настоящим лидером не по положению, а по призванию, с высокой компетентностью и пониманием стратегических задач, с огромной ответственностью перед страной.

Но одновременно большое место в его деятельности занимала и мирная направленность работ. Много сил и таланта А.П.Александров отдал укреплению народного хозяйства страны, мирному использованию атомной энергии. Сначала под его научным руководством создавался уникальный атомный ледокольный флот, способствующий освоению богатств Севера. Затем, благодаря усилиям А.П.Александрова, морские реакторы, образно говоря, выползли на сушу, используя в своих конструкциях многие достижения морской атомной энергетики. Он был идеологом и научным руководителем атомных электростанций страны.

Будучи Президентом АН СССР, он внес очень большой вклад в развитие науки в стране и практическое использование в народном хозяйстве достижений науки, внедрение новых технологий в промышленность, подчеркивая необходимость создания во всех направлениях собственной техники, собственных технологий.

А.П.Александров руководил крупнейшим научным центром страны — Институтом атомной энергии им. И.В.Курчатова. В нем были широко развернуты работы по многим научным направлениям — по атомной энергетике, ядерной физике, молекулярной физике, физике твердого тела, по водородной энергетике, по термоядерным исследованиям.

Возросшая роль науки в обществе и народном хозяйстве потребовала от А.П.Александрова участия в работе высших государственных структур. Он был крупным государственным деятелем, к голосу которого прислушивались члены правительства страны, депутаты Верховного Совета, участники пленумов Центрального Комитета КПСС.

Мы благодарны академику А. П.Александрову за то, что он отдал все, что мог, — знания, силы, здоровье, свою жизнь на

укрепление страны и развитие науки, за его неоценимый вклад в создание атомных флотов — военного и гражданского — и атомной энергетики, за его талант и умение воодушевить коллективы на решение крупнейших задач, за его демократизм и человечность.

Наследие, которое им оставлено, нужно сохранить и умножить, поставить его на службу нашей стране, нашей отечественной науке.

Памяти об А.П.Александрове недостает в обществе. Грустно сознавать, что до сих пор нет ни одного атомного корабля, ледокола, носящего имя выдающегося деятеля нашего времени. Конечно, сейчас мы мало строим. Достраивающиеся корабли и суда уже имеют свои имена. Но это не снимает необходимости приложить все усилия для того, чтобы увековечить память А.П.Александрова. И на море, и на земле.

МЫ ПРИШЛИ К ТЕБЕ, ПОЛЮС!*

Н.С. Хлопкин

Многие годы стремилось человечество к покорению Северного полюса. После того, как там побывал американец Пири, над полюсом пролетали дирижабли и самолеты, проходили санные экспедиции. 40 лет назад на полюсе была высажена дрейфующая станция «Северный полюс-1», которая дала начало семейству подобных станций.

Всплывали на полюсе подводные лодки и отечественные, и американские. Но ни на полюсе, ни вблизи от него не было еще ни одного надводного судна, способного к свободному плаванию в околорезных льдах. С вводом в 1975 году в строй атомного ледокола «Арктика» мощностью 75 тыс. л. с. и водоизмещением более 23 тысяч тонн, обладающего хорошей ледопроницаемостью, появилась возможность осуществить вековую мечту человечества.

С предложением пойти к полюсу на «Арктике» в 1975 году в Мурманское морское пароходство обратился капитан теплохода «Звенигород» Г.О.Канонович, участник высадки станции «Северный полюс-10» с борта атомного ледокола «Ленин». Он неоднократно изучал льды центрального бассейна Арктики в период ледовых разведок и полетов к дрейфующим станциям. В рапорте 22.5.75г. Канонович писал: «Нам нельзя упустить возможность первыми совершить эту экспедицию и окончательно утвердить себя как подлинных покорителей Арктики».

Капитан «Арктики» Ю.С.Кучиев в рапорте Мурманскому пароходству 22 января 1976 года горячо поддержал предложение Г.О.Каноновича. Ю.С.Кучиев убедился при проводке судов во время навигации 1975 года в хорошем техническом состоянии судна, его выдающихся ледокольных качествах, большой автономности,

* «Советский физик» № 31(410), стр.3-4.

высоком мастерстве и морально-политическом настрое экипажа. Он предлагал совершить этот поход в 1976 году. Однако эта экспедиция не состоялась ввиду сложной ледовой обстановки на трассе Северного морского пути, требующей участия ледокола в проводке караванов судов.

После завершения весенних операций капитаны «Арктики» Ю.С.Кучиев и «Ленина» Б.М.Соколов вновь повели агитацию за поход к полюсу. 13 июля 1977 года министр морского флота СССР Т.Б.Гуженко издал приказ о подготовке научно-практического похода к Северному полюсу.

Цель похода — получить данные о работоспособности ледокола в околополюсных льдах, определить возможность прокладки более коротких трасс Северного мирского пути в районах Великой Сибирской полыньи, необходимых для проводки крупнотоннажных морских судов. Большое значение имел поход для утверждения нашей страны в северном секторе Арктики, определенном Постановлением ЦИК СССР в 1924 году. Границы этого сектора определялись меридианами, проходящими на западе — из района границы с Норвегией, на востоке — через Берингов пролив. Этот сектор Арктики жизненно важен для нашей страны. Здесь проходит Северный морской путь — национальная транспортная магистраль, самая короткая водная трасса западных районов страны к Дальнему Востоку. Совместно с сибирскими реками, впадающими в Северный ледовитый океан, Северный морской путь охватывает влиянием огромную территорию страны с уникальными запасами полезных ископаемых. К северному побережью страны примыкает обширный мелководный шельф, простирающийся в восточной части на 500— 700 км от побережья.

Планомерно и систематически, из года в год, преодолевая одну преграду за другой, осваивая параллель за параллелью, градус за градусом, наша страна осваивала Арктику. Наши суда, полярные научные станции продвигались все дальше на север и восток, на побережье появлялись новые порты и базы, промышленные предприятия, аэродромы. Переломным годом в организационном отношении стал 1932 год, когда было создано Главное управление Северного морского пути с задачей превращения Северного морского пути в регулярно действующую транспортную магистраль. Организованы Гидрографическое управление, Управление полярной авиации, на верфях заложены более мощные ледоколы.

Во время Великой Отечественной войны этот путь действовал как важнейшая транспортная магистраль военного времени. Здесь

велись боевые действия, но даже в самые тяжелые месяцы враг не сумел добиться успехов в Арктике ни на суше, ни на море.

В послевоенное время по Северному морскому пути из года в год возрастали перевозки грузов.

Северным морским путем в арктические районы доставляется оборудование и другие товары, обеспечивающие экономическое, политическое и культурное развитие северных районов страны. Произведено оборудование всей трассы Северного морского пути. На Северном морском пути действует морской флот, оснащенный атомными ледоколами. С их помощью расширены сроки навигации: осенью — до Нового года, весной — с февраля, близко время, когда в ряде районов Арктики навигация будет круглогодичной. Перевозки грузов осуществляются специализированными судами — рудовозами, лесовозами, танкерами, контейнеровозами.

Нашей страной в Арктику вложено очень многое. Мы хотим получить полную отдачу. А поход к полюсу наглядно показал всем, что нам доступен любой район арктического бассейна. Поход утверждал большую заинтересованность государства в Северном морском пути, нашей национальной транспортной магистрали. И не случайно руководителем рейса был назначен министр морского флота СССР.

Подготовка атомного ледокола «Арктика» к походу была завершена менее чем за месяц. На борт погружено продовольствие на семь месяцев, научное оборудование, запасной инструмент и приспособления, аварийно-спасательное имущество на случай ледового плена. На палубе закреплен увеличенный комплект запасных лопастей винтов, бульдозер с оборудованием для сооружения ледового аэродрома, лес для постройки различных домиков. В трюмы погружены цемент, песок, взрывчатка, комплекты утепленной одежды и обуви. На корме разместились два вертолета для ведения ледовой разведки. Вмонтированы дополнительные датчики на оборудовании.

Ледокол снялся с якоря в Кольском заливе в 20 часов 9 августа и со скоростью около 20 узлов направился на север. Однако он не стал входить во льды в районе Земли Франца-Иосифа, где благодаря теплоте течения Гольфстрима, свободная ото льда вода проникает далее всего на север. Арктический и Антарктический институт, разрабатывающий маршрут, предложил идти к полюсу из моря Лаптевых. Именно этот район представляет наибольший интерес для высокоширотных трасс Северного морского пути. Льды здесь менее мощные, хотя ледовая кромка расположена южнее. Ледокол будет продвигаться в направлении генерального дрейфа льдов, причем меньше вероятность сжатия льдов, сильно затрудняющего продвижение ледокола.

Поэтому, обогнув Новую Землю с севера, «Арктика» направилась на восток. Недалеко от пролива Вилькицкого произошла встреча с атомным ледоколом «Ленин», который осуществлял проводку судов. Капитану ледокола Б.М.Соколову, отмечавшему в этот день свое пятидесятилетие, вручен приветственный адрес и арбузы. Одновременно передали и комплект карт околополюсного района с пожеланиями, чтобы они в этом году не понадобились. Тепло попрощавшись, «Арктика» прошла пролив Вилькицкого, вышла к меридиану 135° и встала на боевой курс — на север. Вошли в полярный лед и в полярный день. Незаходящее солнце, в основном, скрыто туманом и низкой облачностью.

Главные машины выведены на полную мощность — 75 тыс. л. с. Это хотя и причиняет беспокойство — сильно трясет, но существенно ускоряет продвижение к цели. Между торосами ледокол набирал приличную скорость, которая помогала форсировать крупные торосы без остановки. А их много — через каждые 150-200 м и, как правило, поперек движения.

Началась горячая пора проведения исследований. Ледокол оснащен датчиками напряжений прочного корпуса, они были размещены по всему ледовому поясу корпуса. Датчики давали возможность определять усилия и деформации, возникающие в корпусе при разломе льдов различной толщины, форсировании мощных торосов набегами и ходе судна во льдах с различными скоростями.

Подобными датчиками оснащены и лопасти винтов ледокола, и валы двигателей. Датчики определяли напряжения в наиболее нагруженных сечениях элементов.

Одновременно велись замеры параметров электроэнергетической установки — токов и напряжений главных двигателей и генераторов, температур, давлений и расходов пара в турбинах.

Исследования позволили получить полную картину работы энергетического комплекса и корпуса ледокола на максимальной мощности в различных ледовых условиях.

Толщина преодолеваемого льда определялась с вертолетов. Контрольные замеры производились на остановках прямым бурением.

Ледокол оснащен и измерителем скорости во льдах. Лаги, применяемые для измерения скорости судна на чистой воде, дают во льду значительные погрешности, ибо забиваются их приемные отверстия шугой.

На мостике установлена дополнительная круглосуточная вахта сотрудников Арктического и Антарктического института для визуального наблюдения характера льда, торосов, за метеорологическими условиями.

Представители главного конструктора ледокола наблюдали за работой судна в целом и его отдельных систем при длительном функционировании в тяжелых льдах на максимальной мощности, при максимальных ударных нагрузках и вибрации.

Велся тщательный контроль работы систем атомной энергетической установки, целостности первого контура и его трубопроводов, функционировании систем управления и контроля, поведения активных зон.

Особое место занимали вопросы судовождения в столь высоких широтах, где обычные навигационные приборы переставали работать. Надо были переходить на систему радио- и спутниковой навигации.

Велась непрерывная ледовая разведка самолетами прибрежной авиации и вертолетами. Несколько лет назад данные с самолетов передавались путем сброса выпела на палубу. Сейчас все это делается фототелеграфным способом, что резко повышает оперативность и качество сведений.

Движение ледокола — феерическое зрелище. Особенно, когда шли сквозь торосы. Летнее незаходящее солнце успело растопить верхнюю часть льда. Правда, иногда толщина ледовых нагромождений равнялась 10-15 м под водой. При встрече с таким торосом скорость ледокола падает, его нос начинает подниматься и вдруг рушится вниз. Гром, треск, фонтаны брызг, вылетающих на десятки метров вверх. Брызги застывают на морозе и опускаются уже сверкающими льдинками. Громадные глыбы поднимаются ледоколом, опрокидываются на него, в таком виде со скрежетом проходят вдоль всего корпуса, шлифуя и полируя его. Винтами льдины отбрасываются и выныривают на корме. Шум прибоя от стекающих с них потоков воды. Полярную рыбку — сайку, которая стремительно двигается навстречу стекающим со снега потокам, тотчас, схватывает мороз.

Некоторые льдины поднимаются из морской пучины со следами фрезеровки винтами. Это они ответственны за перегрузки на винтах и валах, в ряде случаев достигающие трехкратных величин от нормальных значений.

Удары корпуса о неровные края льдин, боковые броски ледокола, никак не вяжущиеся с его огромной массой. Судорожно хватаешься за поручни и все остальное, что оказывается под рукой. Гром при разламывании льдин, как при пушечном выстреле. Предельное напряжение машин, вызывающее вибрации корпуса.

Оборудование работает нормально. Мелкие неисправности быстро устраняются отлично работающим экипажем. Но растениям

трудно. При тряске поотрывались все огурцы в оранжереях, созданных любителями перед иллюминаторами кают.

Если ширина тороса не превышает 10-15 м, он преодолевается, как правило, с ходу. Более мощные торосы приходится брать «набегами».

Перед полюсом толщина многолетнего льда возросла до 3,5-4 м. Все чаще стал попадаться канадский паковый лед, со светло-голубыми снежницами, более прочный, чем сибирский.

Встречаются и полыньи, успевшие покрыться тонким льдом. Он звенит, как при катании на коньках. Последние 20 миль перед полюсом шли восемь с половиной часов. Тяжелые льды. Часто останавливались: откорректировать показания навигационных приборов по спутнику. Наконец, в 4.00 17 августа поступила команда: «Стоп. Полюс». Капитан ледокола Кучиев подписью на отчетной карте зафиксировал этот факт. Менее восьми суток понадобилось для достижения полюса из Мурманска. От кромки чистой воды достигли полюса за 3 суток — фантастический результат.

Длительной работой винтов в корме ледокола очищена ото льда полынья. Спустились водолазы, тщательно осмотрели винты и подводную часть корпуса. Осмотр показал, что работа в тяжелых льдах на предельной мощности и большой скорости не отразилась серьезно на их состоянии. Льдом срезаны несколько стопоров. Водолазы поставили новые и подварили их по месту под водой (первая подводная сварка на полюсе). Температура воздуха около нуля. Переменная низкая облачность и туман. Ветер слабый. Глубина моря 4033 м. Бурение возле ледокола показало, что лед толщиной 2,6-3,2 м покрыт мокрым снегом и снежницами — лужами пресной воды глубиной 0,5— 0,75 м, уже успевшими приобрести тонкую ледяную корку. Видны смерзшиеся торосы. Аэродром строить трудновато. Хорошо, что в этом нет надобности.

«Арктика» во флагах расцвечивания. На льду организован митинг, посвященный достижению полюса. На флагштоке, закрепленном при помощи ледовых якорей, поднят государственный флаг. Салют залпами из винтовок и ракетами. У флагштока выставлена герметичная ампула со списком участников рейса, последними газетами и букет ромашек.

На льду вокруг флагштока обрисован круг, радиусом в одну угловую секунду (около 30 м). Желающие могли совершить кругосветное путешествие, кто как мог: бегом, шагом, по одиночке и большими группами.

Сюда капитаном Кучиевым доставлено древко флага Георгия Седова. Седов предполагал установить флаг на полюсе во время похода

1914 года, но дойти до полюса ему не удалось — умер в пути. Древяк флага найден сотрудниками Арктического и Антарктического института в 1938 году на его могиле на о. Рудольфа Земли Франца-Иосифа. Через 63 года оно достигло полюса! Эта реликвия передана музею Арктики и Антарктики в Ленинграде. На полюсе побывал и графитовый блок из кладки первого на континенте Евразии реактора. Правда, он не вернулся в Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова. Он вручен «Арктике» во время подъема государственного флага после сдаточных испытаний с пожеланиями: быть пионерами в освоении новых путей мирного использования атомной энергии.

Оставляли записки на полюсе, очень много фотографировали, хотя моменты с хорошим освещением выбрать было трудно, несмотря на полярный день и незаходящее солнце. Оно закрыто облаками или туманом, свет рассеянный, скрадывающий контрасты, и хороший снимок сделать трудно. Этому мешала и большая волна энтузиазма. Все возбуждены фактом нахождения на полюсе. Сказывалось и напряжение, вызванное последними часами, когда прогнозы по времени достижения полюса резко менялись, буквально, каждый час. Немало участников мечтали достичь Северного полюса, однако большинство из них были ошеломлены, когда мечта осуществилась. Трое суток от чистой воды. Это — фантастика!

Хотелось взять что-либо на память о полюсе. Наполняли полиэтиленовые мешки снегом, заполняли все опорожненные бутылки пресной водой из снежниц. С опасностью для жизни набирали в емкости морскую воду в полынье возле кормы ледокола. Вечером 17 августа во время прощального митинга в эту полынью опустили памятную плиту о достижении «Арктикой» Северного полюса. Очень были дефицитны денежные монеты: каждый старался через левое плечо забросить их в воду, чтобы, в соответствии с поверьем, еще раз вернуться в эту ледяную пустыню.

Плавательный бассейн судна заполнен полюсной заборной водой. Очередь стремящихся поплавать на полюсе в полюсной морской воде.

В курительном салоне судна столпились филателисты — гашенные марок памятным штемпелем. «Северный полюс, а/л «Арктика», 17 августа 1977 г.»

А как быть тем, у кого нет конвертов? Становились в конце очереди с книгами, блокнотами и даже просто с чистыми листами бумаги. Годились и фотографии. Особенно ценились фотографии а/л «Арктика» и «Ленин».

Вокруг ледокола летал ИЛ-14, на борту которого находился генерал-лейтенант Марк Иванович Шевелев. Сорок лет назад он,

будучи начальником Полярной авиации и заместителем начальника экспедиции Северный полюс-1, доставлял на полюс группу И.Д.Папанина. В этот раз генерал проводил ледовую разведку маршрута следования «Арктики» к полюсу. Взволнованным голосом Марк Иванович поздравил моряков с достижением полюса, передал восхищение рейсом. Просил перед уходом смазать земную ось. Не меньше взволнованы и участники разговора на борту — ведь Шевелеву идет 73-й год, а он продолжает совершать такие рейсы.

В 18.00 17 августа ледокол дал два прощальных гудка и взял курс на север. Пока стояли, дрейф льда сместил «Арктику» с полюса. Поэтому на пути к дому прошли над полюсом в третий раз. Первый, не зная об этом. При уточнении показаний корабельных приборов по спутнику установили, что «Арктика» была на макушке мира. Вторично, уже по уточненным данным, в районе, где была стоянка. И теперь третий раз. Лед тяжелый. Скорость — 2-3 узла — медленнее, чем к полюсу, хотя известно, что каждая лошадка домой быстро бежит. Несколько раз «сидели на торосах», в том числе длительно — за 4 часа не продвинулись ни на один сантиметр. Подтвердились прогнозы Арктического и Антарктического института по ледовой обстановке в центральном бассейне. Действительно, оказался прав адмирал Макаров. Объясняя свой неуспех похода к полюсу на ледоколе «Ермак», он говорил, что пошел не тем путем. Надо было идти к полюсу со стороны Сибири, в направлении дрейфа льда.

С борта «Арктики» был направлен рапорт Генеральному секретарю ЦК КПСС, Председателю Президиума Верховного Совета СССР товарищу Л.И.Брежневу о выполнении задания по осуществлению научно-практического экспериментального рейса атомным ледоколом «Арктика», о достижении Северного полюса надводным кораблем в активном плавании.

Уже на другой день «Арктика» получила поздравление Леонида Ильича Брежнева с осуществлением замечательной мечты, которая жила в нашем народе многие столетия, и продолжением доброго дела использования мирного атома в интересах развития народного хозяйства на благо советского народа. Леонид Ильич пожелал дальнейших успехов в развитии и совершенствовании судоходства на Северном морском пути — главной национальной транспортной магистрали в Арктике.

Всех участников экспедиции до глубины души взволновали теплые слова приветствия. На митинге принято письмо Генеральному секретарю ЦК КПСС, Председателю Президиума Верховного Совета СССР товарищу Л.И.Брежневу, где выражена сыновья

благодарность за высокую оценку труда. Участники митинга заверили, что все помыслы и дела будут направлены на повышение экономической эффективности атомного богатыря для освоения богатств Крайнего Севера, всемерного продления навигации по трассе Северного морского пути и более высоким широтам, обеспечения безопасности плавания транспортных судов.

Приветствия в адрес «Арктики» пошли огромным потоком со всех концов страны. Первыми откликнулись суда и полярные станции Северного морского пути, которые по регулярно передаваемым координатам «Арктики» пристально следили за ходом продвижения к полюсу. Штаб морских операций востока Арктики прислал стихи:

О чем великий Ломоносов
Давным-давно в мечтах дерзал,
Где многие остались с носом,
Куда Макаров не попал.
Где Пири скушал славу Кука,
Куда стремились над и под,
Морская сила и наука
Свершила дерзкий переход.
Достигнув полюса так быстро,
Вы привезли туда министра.
И выпел им в конце похода
Опущен был к Нептуну в воду.

Анатолий Петрович Александров прислал приветствие из Ено-таевки капитану Кучиеву:

«Поздравляю Вас и команду «Арктики» с выдающимся походом к Северному полюсу. Ваш поход продемонстрировал отличное освоение техники и доказал, что для советских атомоходов нет недоступных районов Арктики».

После сообщения ТАСС о подвиге «Арктики» заговорил весь мир. Поток откликов превзошел все ожидания. Во всем мире признали это крупнейшее событие.

Нью-Йорк. Плавание продемонстрировало возросшие возможности СССР в ледовой навигации. Навигация больше не будет ограничена прибрежной зоной Северной Сибири, обеспечивается бесперебойное снабжение полярных исследовательских станций...

Открыты широкие перспективы для освоения природных богатств Сибири...

Выдающийся успех «Арктики» претворяет в жизнь давнишнюю мечту русских — установить и поддерживать круглогодичное судходство на севере.

Лондон. Историческое достижение в освоении Арктики. Триумф, который венчает обширную советскую программу исследований Арктики и Антарктиды.

Сделан важнейший шаг в освоении кратчайшего пути из Европы и Азии в Северную Америку.

Бонн. Советский Союз вновь стал пионером на суровом Севере. Экипаж ледокола «Арктика» совершил поистине великий научный подвиг, логически вытекающий из мирного характера исследований, которыми заняты советские ученые.

Токио. Это выдающееся событие еще раз показало всему миру высокий уровень развития советской науки и техники.

Оттава. Триумф советской науки и техники, не имеющий себе равных за всю историю покорения Арктики.

Рим. Достижение советских моряков и ученых является важным шагом в истории навигации в водах Северного Ледовитого океана и имеет огромную практическую ценность.

Осло. На фоне всех прежних попыток пройти к Северному полюсу поход «Арктики» кажется фантастическим.

Прага. Советский Союз достиг гигантских высот в развитии науки и техники. Арктический поход атомного ледокола продемонстрировал техническую мощь и совершенство советского кораблестроения и морского флота.

Мадрид. Подвиг научной мысли, человеческого разума... Советский Союз еще раз продемонстрировал свое стремление использовать атом в мирных целях на благо всего человечества.

В лучах новой славы возвращается ледокол в Мурманск. При прохождении траверса о. Рудольфа Земли Франца Иосифа — три гудка в честь Георгия Седова, героически погибшего при попытке достижения полюса и похороненного здесь шестьдесят три года назад.

Кольский залив встречает непрерывным хором гудков пароходов, передающих друг другу как эстафету проходящую «Арктику».

В Мурманске — праздничный митинг. Салютует «Арктика» 21 залпом ракет.

С победой, «Арктика»! С возвращением, покорители Северного полюса!

Сейчас «Арктика» вновь на трассах Северного морского пути. Ее ждут караваны судов, которым тяжелые льды преграждают путь.

Новых успехов в нелегком ледокольном труде «Арктике», «Ленину», а теперь уже и «Сибири»! Новых применений атому в мирном труде!

АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА ДЛЯ ОСВОЕНИЯ СЕВЕРА *

Н. С. Хлопкин

1. Введение

Тема данного доклада не случайна для общей тематики Александровских чтений.

А.П. Александров отдал много сил укреплению и развитию Севера: размагничивание кораблей в Архангельске и Мурманске во время войны, ввод в действие атомных подводных лодок на Северном машиностроительном предприятии г. Северодвинска и участие в их походах на северных морях. По предложению А.П. Александрова и И.В. Курчатова был создан базирующийся в Мурманске атомный ледокольный флот, превративший Северный морской путь (СМП) в нормально действующую магистраль. Здесь А.П. Александров видел перспективы применения малой атомной энергетики для освоения богатств Севера.

В докладе, представленном на V Александровских чтениях, академик Н.Н. Моисеев [1] рассматривает стратегию общественно-экономического развития нашей страны, занимающую самую тяжелую в климатическом отношении часть планеты. Южная граница распространения вечной мерзлоты начинается от Кольского полуострова, спускается до Байкала и заканчивается в Комсомольске-на-Амуре. Таким образом, более половины страны относится к северным или приравненным к ним территориям.

Практически все эти регионы находятся в зоне децентрализованного энергоснабжения. Наша энергетическая система с линиями электропередачи охватывает лишь 15% территории страны.

* VI Александровские чтения. Февраль 2000 г., г. Москва. РНЦ КИ. 2000 г.

Северные регионы обладают третьей частью мировых запасов никеля, десятой частью меди и кобальта. Здесь находятся большинство российских месторождений алмазов, золота, почти половина деловой древесины, около 80% российской нефти, практически весь природный газ с учетом месторождений на шельфе морей, прилегающих к побережью. Россия может претендовать на 1,5 млн км² шельфа. О богатствах шельфа можно судить по его восточной части, где открыты крупнейшие месторождения газа — Штокмановское, Русановское, Ленинградское.

В настоящее время Север дает 93% добычи природного газа, 75% нефти, пятую часть национального дохода России и почти 60% совокупного экспорта. На Севере сосредоточено 2/3 природно-ресурсного потенциала страны.

В данном докладе будет рассмотрена роль атомной энергетики в решении двух важнейших государственных задач развития:

- СМП — национальной транспортной артерии, соединяющей Россию со странами атлантического и тихоокеанского регионов, обеспечивающей освоение и вывоз громадных богатств Севера, а также устойчивое снабжение прибрежных северных районов топливом, продовольствием, оборудованием;
- атомной энергетики, позволяющей продвинуть добывающую промышленность в те области Севера, в которых сосредоточены основные природные богатства.

Каждая тонна ценнейших полезных ископаемых, добытая из арктических недр, требует значительных затрат энергии (например, для золота — 10 млн кВт·ч). В наше время от привозного органического топлива практически полностью зависит жизнедеятельность ряда районов Крайнего Севера и Дальнего Востока.

В докладе будут рассмотрены лишь ближайшие перспективы, так как, заглядывая в далекое будущее, легко упустить насущные задачи ближайшего будущего.

2. Северный морской путь

Национальная транспортная магистраль СМП России вместе с выпадающими в Северный Ледовитый океан сибирскими реками обслуживает значительную часть северных территорий. На ее освоение Россия затратила огромные средства и усилия многих поколений. В результате Северный Ледовитый океан был признан одним из наиболее изученных частей мирового океана. Дрейфующие станции, высокоширотные «прыгающие» авиаэкспедиции,

ледокольные плавания, аэрофото- и радиолокационные съемки льдов — все это планомерно проводилось в течение многих лет для организации природопользования и снабжения этих удаленных районов. Для некоторых районов Севера (Чукотка, острова арктических морей, побережье Красноярского края и Тюменской области) морской транспорт является единственным средством перевозки массовых грузов [2].

Грузооборот по СМП в 1987 г. составил 6,6 млн т. За годы перестройки он упал в несколько раз и составил в 1998 г. 1,5 млн т. Одновременно произошла дезинтеграция на разрозненные элементы единого хозяйственного механизма. Арктические порты, расположенные главным образом вблизи устьев рек, являются самым слабым звеном на трассе СМП. Их модернизация прекращена в 1990 г.

Прогнозируется значительное увеличение грузооборота в основном за счет перевозки нефти. Перевоз норильской руды, сибирского леса существенно не изменится и составит около 1,4 млн т в год. Мало увеличится и северный завоз — всего до 1 млн т в год, что совершенно недостаточно для громадной прибрежной территории. Ожидается увеличение транзитных перевозок, однако не в том объеме, о котором мечтал академик Н.Н.Моисеев — пока всего лишь 1 млн т в год.

Коренным образом увеличится транспортировка углеводородов (до 8-10 млн т в год), главным образом с Тимано-Печорского месторождения.

В последующие годы должна возрасти роль СМП и как связующего звена между российским Дальним Востоком и западными странами, странами Атлантического и Тихого океанов, и при доставке грузов из Европы в Японию или Китай. СМП вдвое короче южного, проходящего через Суэцкий канал.

Уже сейчас транзитные перевозки СМП можно осуществлять в летнюю навигацию, что сократит сроки доставки грузов на 10-15 суток по сравнению с перевозками южным путем, получая при этом экономический эффект более 100 тыс. дол. в каждом рейсе. Это было показано при выполнении рейса транспортного судна «Кандалакша» в августе 1995 г. по маршруту Иокогама—СМП—Киркенес.

Северный МП имеет очень большое значение для страны, обеспечивая функционирование промыслов, транспортировку и безопасность доставки добываемых полезных ископаемых, экономические связи и контроль за стратегически важным для страны арктическим регионом, где сосредоточена большая часть углеводородных запасов России на континентальном шельфе.

Значение его увеличивается и вследствие возрастания роли

Мирового океана в решении важнейших задач в политической, военно-стратегической и экономической областях.

Обострение конкуренции между развитыми странами за доступ к ресурсам Мирового океана и стремление к контролю за его стратегически важными районами усиливают экономическое, политическое и международно-правовое давление на Россию с целью ограничения ее морской деятельности. Защита государственных интересов и охрана принадлежащих России ресурсов в Арктике должны быть отнесены к категории высших государственных приоритетов. Тем более, что СМП проходит вдоль Государственной границы России на море очень значительной протяженности.

Особую важность приобретает СМП также ввиду существенно-го изменения геополитической ситуации в мире, когда ограничилось возможности доступа нашей страны к ресурсам и пространствам Мирового океана, магистральным морским коммуникациям в Балтийском и Черном морях.

Развитие транзитных морских перевозок по СМП важно и для других процессов в мире, в частности, углубления мировой интеграции и разделения труда на морском мировом рынке товаров и услуг. Для обеспечения эффективности функционирования морских и речных транспортных коммуникаций требуется развитие инфраструктуры: портов, навигационно-гидрографического обеспечения, гидрометеорологических систем, наблюдения и контроля ледовой обстановки, систем связи, ремонтных баз, поисково-спасательных служб. Конечно, все эти задачи придется решать при становлении рыночных отношений на Севере, но при надлежащем государственном управлении деятельностью и усилении государственной поддержки.

3. Транспортировка грузов Северным морским путем надводными судами

При осуществлении массовых перевозок грузов морями Арктики с применением водоизмещающих надводных судов участие ледоколов будет оставаться основным элементом их функционирования.

В 70-е годы для снижения стоимости транспортировки американцы попытались применить крупнотоннажные суда активного ледового плавания без сопровождения ледокола. Был преобразован в ледокольное судно танкер «Манхеттен» водоизмещением 115 тыс. т и мощностью энергетической установки 43 тыс. л.с. Во время двух

экспериментальных рейсов севернее Аляски танкер получил повреждения, часто клинил, простаивал при сжатии льда. Поэтому такой способ транспортировки грузов не получил распространения. По мнению сотрудников Центрального научно-исследовательского института морского флота (ЦНИИМФ) целесообразность круглогодичного использования в Арктике ледокольно-транспортных судов активного плавания без сопровождения ледоколов сомнительна.

Россия обладает уникальным атомным ледокольным флотом, который совместно с дизельным ледокольным и грузовым гражданским флотами ледового класса (танкеры, грузовые суда различного назначения) создает основу морского потенциала СМП и поддерживает статус России как мировой морской державы, обеспечивает гарантированный доступ к ресурсам, расположенным на шельфе и в прибрежной зоне, а также безопасность плавания в ледовых условиях, эффективность функционирования морских и речных транспортных магистралей. В этом регионе свобода деятельности обеспечивается независимо от иностранных государств. Важно и само присутствие отечественного флота в этих регионах как демонстрация флага и прав Российской Федерации. Атомные ледоколы очень хорошо себя зарекомендовали в Арктике. Благодаря атомным ледоколам, были существенно расширены сроки навигации, которая в западном секторе оказалась круглогодичной. Повысилась безопасность проводимых караванов. Ядерные энергетические установки (ЯЭУ) показали себя надежным источником энергии в условиях эксплуатации, которые в судовой практике относятся к наиболее тяжелым. Есть успехи и у дизельных ледоколов. Благодаря им практически круглогодичной становится навигация к югу от Берингова пролива.

Существующий атомный ледокольный флот (четыре линейных ледокола с мощностью 75 000 л.с. каждый и два ледокола с ограниченной осадкой мощностью 50 000 л.с. каждый) с учетом предполагаемого ввода в 2005г. а/л «50 лет Победы» обеспечат планируемые перевозки до 2005 г. Однако к этому времени у всех ледоколов, кроме а/л «Ямал» и «50 лет Победы», будет исчерпан назначенный ресурс (100 тыс. ч). Необходимо продление ресурса атомных ледоколов до 150-175 тыс. ч, чтобы они могли работать до 2010г., когда можно ожидать пополнения атомного ледокольного флота. Возможность продления ресурса сверх назначенного срока показал а/л «Арктика», который проработал на мощности 143 тыс.ч. Однако работы по продлению ресурса непростые, требуется ремонт оборудования, вызывающего беспокойство, приве-

ление состояния оборудования в соответствие с современной нормативной документацией по безопасности, а если этого нельзя сделать — разработка компенсирующих мер. План продления ресурса сверстан, правительство выделило для а/л «Арктика» на ближайшие 4 года 50 млн руб. для выполнения самых неотложных работ.

Необходимо подчеркнуть, что очень важным условием продления сроков эксплуатации ледоколов сверх назначенных сроков является сохранение экипажей, состоящих из квалифицированных кадров. Ибо морской экипаж — это не только набор отдельных специалистов, выполняющих работу на своих постах. Малая сменяемость кадров во всех звеньях позволяет иметь слаженный обслуживающий персонал, воспитанный в духе коллективизма, товарищеской спайки и взаимной поддержки. Такой экипаж, в совершенстве освоив оборудование, способен быстро выявлять и устранять неисправности без больших затрат времени и средств. Сохранение квалифицированных специалистов, «золотого» фонда эксплуатирующей организации, — одна из важнейших задач при продлении сроков службы оборудования, требующего более внимательного отношения.

Конечно, в этот период потребуется и усиление авторского надзора со стороны конструкторских и научных организаций, к счастью, сохранивших в своем составе даже часть сотрудников, разрабатывавших эти установки. Авторский надзор также должен быть очень квалифицированным. Нужно воспитывать новую смену, передавать накопленный опыт, что наиболее целесообразно выполнять в процессе практической работы над новыми энергетическими установками для новых атомных ледоколов, которые определены решениями министров транспорта и атомной энергии в марте 1999г. и подтверждены Президентом России [3]. Тем не менее работы должного «разворота» не получили, в частности, еще не выдано техническое задание на их создание, не выполнено технико-экономическое обоснование. Понимание важности задач есть, а дела нет.

В первую очередь требуется ледокол универсального назначения, способный работать на основных трассах СМП, а также в прибрежных районах арктических морей и в устьях сибирских рек. Предполагается, что ледокол этого типа должен иметь две рабочие осадки: большую — для обслуживания караванов судов на традиционных трассах СМП, меньшую — для проводки судов по мелководным участкам в прибрежной зоне и в устьях рек. Мощность энергетической установки ледокола — около 62 МВт [4].

Кроме того, необходимо создать ледокол-лидер для обеспечения

надежных проводок караванов судов в зимне-весенний период, проводок перспективных крупнотоннажных судов при круглогодичном вывозе сырьевых ресурсов и обслуживания сквозных транзитных перевозок грузов между Западной Европой и Дальним Востоком. Характеристики этих ледоколов в сравнении с находящимися в эксплуатации приведены в табл. 1.

Таблица 1

Атомные ледоколы и атомное судно «Севморпуть»

Характеристика	Эксплуатация			Проработка а/л	
	а/л «Россия»	а/л «Таймыр»	«Севморпуть»	Двухсос- дочный	Лидер
Водоизмещение, т	23 460	20000	61 000		
Мощность энерго- установки, л.с.	75000	50000	40000	85700	150000
Осадка, м	11	8,1	10,8	9,2 (< 11 макс.)	12 (14 макс.)
Ширина, м	30	29,2	32,2	33	36
Ледопроездимость, м	2,3	1,8	1,2	2,7—2,8	3
Скорость, узл. (чистая вода)	21	18,5	20	20	21

На обоих ледоколах будут применены в значительной мере унифицированные реакторы, которые на конкурсной основе разрабатывают ОКБМ и НИКИЭТ. По-видимому, это будут реакторы интегрального типа, учитывающие опыт эксплуатации атомного флота. Повышенная безопасность, сильные обратные связи, очень высокий уровень естественной циркуляции, уменьшенная напряженность активных зон при значительном увеличении энергозапаса, высокая надежность и ресурс оборудования, резкое сокращение радиоактивных отходов будут характерными для этих реакторов. Их предварительные проработки уже выполнены [5].

Следует подчеркнуть, что эффективность ледокольного флота в очень большой степени зависит от дедвейта проводимых судов по С МП, который постоянно возрастает (табл. 2).

Дедвейт танкеров достиг 17 000 т. Строятся танкеры ледового класса дедвейтом 20 000 т и ведутся проработки танкеров дедвейтом 55 000 т. На трассе работают грузовые суда ледового класса типа «Норильск» дедвейтом 12 900 т. Конечно, наибольшая эффективность атомных ледоколов проявится при проводке атомных судов. Первая «ласточка» — атомное грузовое судно «Севморпуть» дедвейтом 31 900 т, показавшее свои высокие качества при

Арктические суда

	Танкер ледового класса		Грузовое судно		
	«Самотлор»	В постройке	Проработки	«Амгузма»	«Норильск»
Водоизмещение, т	30000			11 290	24600
Дедвейт, т	17000	20000	55000; 100000	6250	12900
Мощность энергоустановки, л.с.				5300	15400
Скорость, узл.				15	17
Осадка, м				7,6	8,5
Ширина, м				18,8	24,5
Ледопроницаемость, м				0,6	0,9

круглогодичном вывозе грузов из Дудинки на Енисее, главным образом норильской руды [6]. Все грузовые суда могут самостоятельно преодолевать ледовые поля толщиной 0,6-1,2 м. При этом очень большую роль играет осадка судов. Традиционные трассы СМП проходят по мелководному шельфу вблизи побережья, где льды более проходимы. Особенно ограничивают осадку судов устья сибирских рек — важные магистрали вглубь материка, дополняющие СМП. Бары в их устьях исключают проход судов и ледоколов с осадкой более 9 м.

Наибольший интерес представляют проводки караванов по более северным трассам, где глубины моря значительно больше, и, в частности, через незамерзающую полыню длиной около 1000 км. Опытная проводка через эту полыню атомным ледоколом «Сибирь» грузового судна «Капитан Мышевский» осуществлена в мае 1978 г. На выполнение рейса от Мурманска до Берингова пролива было затрачено всего 18 суток, и почти на два месяца раньше обычного срока началась навигация морских судов в этом районе. Северными трассами можно проводить крупнотоннажные суда, конечно, если их ширина не превосходит заметно ширины ледокола. Пока это дело будущего. Вход и выход из северной полыни загромождают тяжелые льды.

4. Подводная транспортировка грузов

Ожидаемый рост грузоперевозок по СМП главным образом за счет углеводородов и трудности, возникающие при их транспортировке традиционными способами (судами с ледокольным сопровождением), выдвинули идею транспортировки грузов подводным морским транспортом.

Возможность выбрать кратчайший путь, практическая независимость от состояния водной поверхности, высокая и постоянная скорость движения — все это позволяет рассматривать подводные транспортные суда как дополнение к существующей транспортной перевозке грузов морем [7]. Здесь открываются широкие возможности для транзитных перевозок из Европы в Азию и обратно. Некоторые трудности могут возникнуть на мелководье Берингова пролива (глубины менее 60 м), которое в зимнее время покрывается льдом. Возможно, здесь надо будет иметь дежурство ледоколов или менять конструкцию танкеров, придав им проходимость во льдах толщиной до 1,5 м.

Россия обладает научно-конструкторской базой, современной технологией и заводами для постройки подводных транспортов [8].

В СПМБМ «Малахит» и ЦКБ «Лазурит» в 1990-1997 гг. были проведены технико-экономические исследования по подводным транспортным судам, в результате которых были определены их эффективность, облик с учетом специфики районов плавания, требования безопасности и экологической чистоты [9, 10].

Из представленных вариантов более предпочтительны суда грузоподъемностью 20 000-30 000 т. Предложенные супертанкеры грузоподъемностью 300 000 т вряд ли найдут здесь применение. Такие суда не оправдали возлагаемых на них надежд даже в надводном исполнении при плавании по чистой воде в южных морях. Ширина ~70 м создает большие трудности для проводки их ледоколами во льдах Берингова пролива.

Одновременно были предложены и подводные контейнеровозы. Сходные технико-эксплуатационные требования, предъявляемые к танкеру и контейнеровозу, позволили провести их разработку на базе единых технических решений. В носовой части прочного корпуса расположены посты управления и жилые помещения, в средней части находятся грузовые отсеки, в кормовой части — энергетическая установка.

В связи с проблемами захода атомных судов в порты появилось предложение о расположении ядерной энергетической установки

в отдельном кормовом модуле, который может быть отделен от остальной части перед заходом в порты или в случае аварии танкера.

Грузообработка танкера и контейнеровоза будет производиться с помощью собственных средств, без предъявления особых требований к оборудованию существующих портов и терминалов. Однако потребуется приспособить существующую инфраструктуру портов, рассчитанных на прием надводных судов с установками на органическом топливе, к новому виду транспортных средств. По предварительным оценкам использование подводных судов позволит обеспечить устойчивые круглогодичные скоростные перевозки транзитных грузов в 2 раза быстрее и эффективнее, чем южным путем.

5. Подводно-подледный комплекс для добычи углеводородов на глубоководном шельфе Арктики

В северо-восточной части Баренцева моря и в южной части Карского моря открыто много месторождений углеводородов. Наиболее крупные из них — Штокмановское, Русановское, Ленинградское. Глубины моря здесь превышают 100 м, а в районе Штокмановского месторождения — более 300 м. Почти 9 месяцев в году море покрыто льдом. Разработанные в мировой практике ледостойкие стационарные платформы для добычи углеводородов на больших глубинах и в сложных ледовых условиях оказываются очень сложными и экономически неоправданными. В ряде случаев их применение становится просто невозможным.

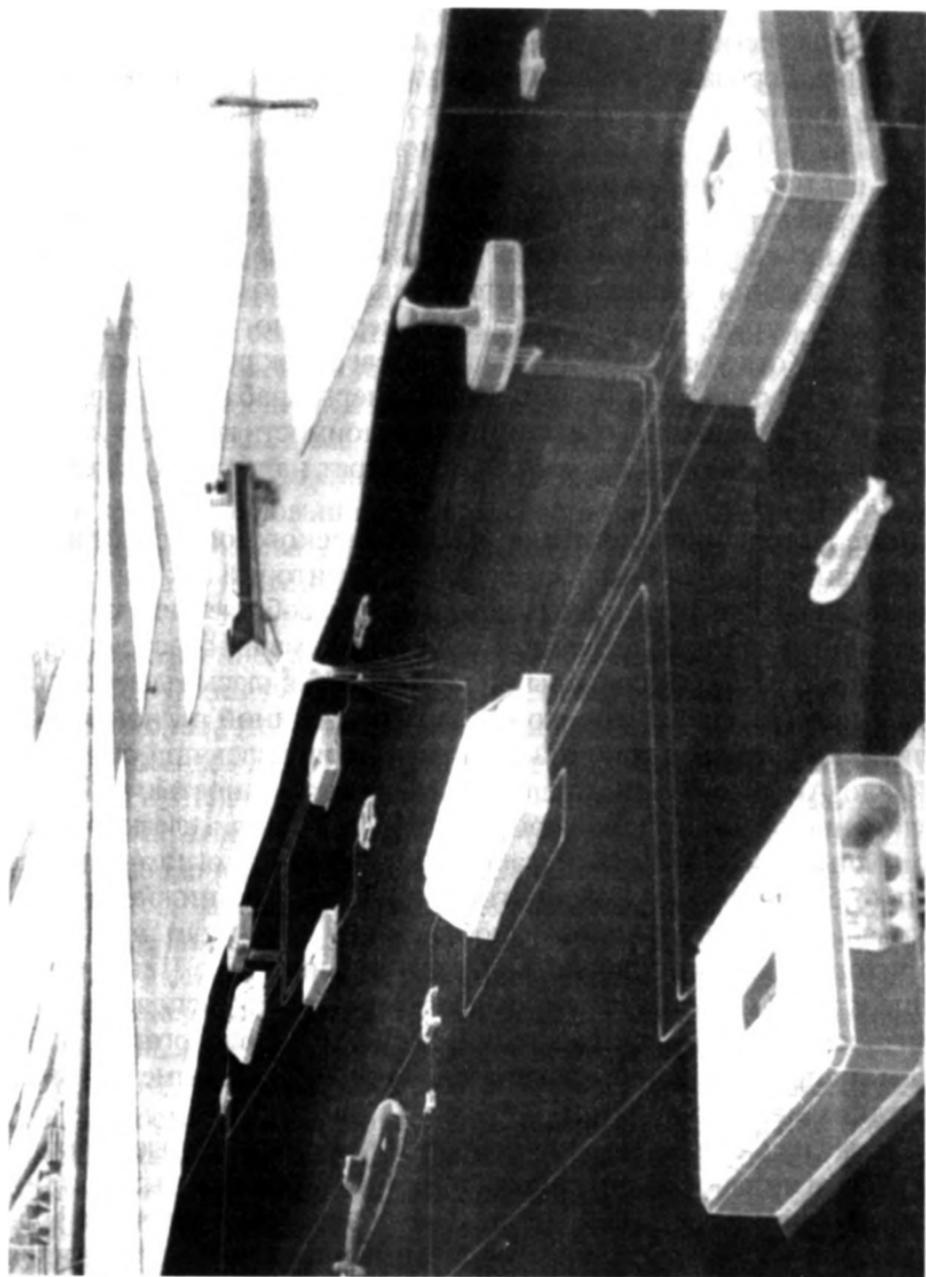
Для рассматриваемых регионов Нижегородское ЦКБ «Лазурит» предложило уникальную подводно-подледную систему добычи углеводородов, способную работать круглогодично, независимо от ледовой обстановки. Результаты этих проработок неоднократно докладывались на конференциях, научных семинарах и т.п., что позволяет лишь кратко остановиться на вопросах применения атомной энергетики [10].

Составными частями технологического комплекса являются подводные модули и блоки, обеспечивающие функционирование производственного процесса, энергоснабжения, управления, жизнеобеспечения, связи, снабжения материалами и др. Концепция основывается на технологиях, отработанных при создании отечественного подводного флота, а также на опыте отечественного и зарубежного газового и нефтяного машиностроения. Мощность

приводных двигателей буровых установок составляет 15-20 МВт. Атомные энергоустановки общей мощностью 12 МВт будут размещены на блоке энергетики и автоматизированного управления. Потребности блока промысловой обработки газа и конденсата составляют ~20-30 МВт. Транспортные подводные суда обеспечения, буровые суда будут иметь самостоятельные ядерно-энергетические установки. Ориентировочные мощности этих установок — 15-20 МВт. При обустройстве комплекса большую роль могут сыграть имеющиеся атомные ледоколы и атомное грузовое судно ледового класса «Севморпуть». В дальнейшем их сменят многофункциональные ледоколы-снабженцы.

Штокмановское газоконденсатное месторождение расположено в 600 км от Кольского полуострова. Предполагается транспортировка газа на берег по трем подводным газопроводам общей производительностью 50 млрд м³ газа в год за счет высокого начального пластового давления (15 МПа). При снижении пластового давления до 7 МПа эксплуатация месторождения прекращается. Потери газа при таком традиционном решении очень велики. Эти потери можно уменьшить с помощью атомных подводных газоперекачивающих станций, позволяющих одновременно уменьшить число ниток газопровода в 1,5 раза. Автономная атомная газокompрессорная станция с паротурбинным приводом расположена на подводном судне, способном самостоятельно погружаться, всплывать, маневрировать в подводном и надводном положениях и осуществлять стыковку с подводным газопроводом. Разработчики считают реальной работу компрессорной станции с нагнетателями газа общей мощностью 40 МВт (э) в автоматическом режиме без обслуживания в течение одного года. До накопления опыта предусматривается посещение ее один раз в три месяца для выполнения профилактических работ. Водоизмещение станции около 7500 т. На одной нитке устанавливаются две газоперекачивающие станции, поэтому для нормальной работы газопроводной сети потребуется 6-7 комплектов станций, учитывая необходимость их периодической замены для перегрузки топлива и ремонтных работ.

Конечно, предлагаемая схема подводно-подледной добычи газа и нефти может быть применена только после всесторонних испытаний входящего в нее оборудования — поэлементно и с использованием наземной экспериментальной базы, требующей своей инфраструктуры. Отработанные решения могут найти применение в дальнейшем освоении и использовании недр океана для нужд человечества.



Подводно-подледный комплекс для добычи углеводородов

6. Малая атомная энергетика для энергообеспечения Севера

Северные регионы России — зона децентрализованного энергообеспечения. Города с крупной промышленностью здесь редки. Чаще рабочие поселки с предприятиями и промыслами имеют численность населения 5000-10 000 чел. Самая многочисленная группа поселков имеет население менее 1000 чел. Строительство крупных теплоэлектроцентралей на органическом топливе, размещенных вблизи месторождений угля, газа или нефти не решает задачи энергоснабжения больших территорий, так как создание сети электропередач в труднодоступных районах нереально, а теплопроводов тем более. Хотя угля, нефти и газа на Севере, включая Восточную Сибирь и Якутию, достаточно. Задача энергоснабжения решается малыми ТЭЦ и дизельными станциями, стоимость выработки энергии которыми высока из-за больших затрат на доставку и хранение топлива [12].

Доперестроечная политика экономического освоения и использования богатств малозаселенных территорий заключалась в создании высокоэффективных комплексов с собственной крупной ресурсной и производственной базой, оптимальной структурой экономики, развитой социальной сферой. Ставилась задача долгосрочного развития территорий в рамках единой региональной политики. Наиболее ярко эта политика проявилась при создании Байкало-Амурской магистрали (БАМ) протяженностью 4000 км, соединенной с Транссибирской магистралью тремя железнодорожными линиями. БАМ охватывает своим влиянием огромную площадь (1,5 млн км²) от Северного Прибайкалья до нижнего Приамурья и тихоокеанского побережья, где размещен ряд территориально-производственных регионов с высокими концентрациями минерально-сырьевых ресурсов, расположенных вблизи как рудных месторождений, так и топливозапасов энергетического сырья (например, район Удокана с месторождениями меди, железа, редких металлов и угля).

Сейчас на Север очень интенсивно вносятся рыночные отношения. Многие сформировавшиеся ценой значительных усилий государственные успешные механизмы привлечения кадров и формирования на Севере квалифицированных трудовых коллективов для освоения его богатств оказались в одночасье разрушенными. За годы перестройки уровень жизни населения снизился на Севере в значительно большей степени, чем в других районах. Началось

масштабное высвобождение многих тысяч работников в результате приватизации предприятий, бытового сектора и сферы услуг. Безработица неуклонно увеличивалась.

Появилась тенденция одичания населения. Значительно возросла доля пенсионеров в результате естественного увеличения среднего возраста северян. Но идет отток преимущественно трудоспособного населения. Брошены дома, построенные здесь с таким большим трудом. Потери населения достигли угрожающих размеров во многих регионах Арктики и Дальнего Востока. Обеспечение жизни человека на Севере стоит дорого, и государство поддерживает миграцию населения с Севера, однако она должна проводиться целенаправленно, особенно из поселков, где запасы месторождений в результате многолетней ускоренной эксплуатации оказались исчерпанными. За последние годы с Севера уехали более 1 млн чел., оставив здесь горы лома, кладбища техники, но здесь еще остались более 10 млн чел. Можно приблизительно оценить потребную мощность децентрализованного энергообеспечения. По мнению академика Н.Н.Моисеева, для создания на Севере средневропейского уровня жизни и технологии требуется 18т условного топлива в год на человека, а среднероссийского — около 6 т. Таким образом, масштаб северного завоза одного топлива, если не учитывать местные источники топлива, составит около 60 млн т. По мнению реформаторов, это образует огромный рынок для топливных компаний. Госзавоз в соответствии с новой концепцией освоения Севера заменяется рынком для завоза. Понятно, что столько топлива на Север не завезти. В новой концепции предлагается не масштабное, а выборочное освоение отдельных районов Севера подчас без постоянного заселения и с организацией работы вахтовым методом.

Реформаторы одновременно предлагают развивать энергонезависимость северных территорий, всемерно используя местные источники энергии. С общей точки зрения ориентация на максимальное использование местных источников правильна.

В марте 1995г. межведомственная комиссия по экономической безопасности Совета безопасности РФ приняла решение провести исследование возможностей замещения ввоза энергоносителей собственным их производством. Минтопэнерго, Госкомсевер, Минэкономики, Минсельхозпрод совместно с органами исполнительной власти северных территорий и научный совет «Нетрадиционная энергетика» попытались разработать предложения в Федеральную программу развития энергообеспечения северных территорий на пять лет (1996-2000 гг.) за счет возобновляемых и местных видов

топлива. По результатам расчетов, выполненных при подготовке этой программы, определено, что завоз топлива приводит к повышению стоимости вырабатываемой электроэнергии до 15-30 центов за кВт-ч. Результаты исследований представлены в табл. 4.

Таблица 4

Выработка энергии за счет возобновляемых источников энергии и местных видов топлива

Год	Суммарный ввод мощностей, МВт	Источник	Мощность, МВт
1996—1998	603	Малые ветроэлектростанции	100
		Малые ГЭС	134
		Солнечные коллекторы	169
		Малые ТЭЦ на древесных отходах	60
		Малые ТЭЦ на торфе	130
		ГеоТЭС	2
		Фотоэлектрические станции	1
		Биоэнергетические установки	3,2
1999—2000	246		

Затраты на выполнение пятилетней программы оценивались в 1,5 млрд долл. США. Выполнение программы давало возможность замещения завоза около 1,1 млн т. нефтепродуктов в год.

Судя по таблице, даже в столь оптимистических предположениях с учетом солнечных коллекторов и фотоэлектрических станций, возобновляемые источники энергии могут составить в энергообеспечении Севера небольшую долю.

К настоящему времени для обеспечения потребностей северных регионов разработано довольно много проектов атомных энергоисточников широкого мощностного ряда. Показано, что атомная энергетика может удовлетворить самых разнообразных потребителей. Атомная энергетика может существенно снизить объемы северного завоза топлива, обеспечив при этом потребности населения в тепле и электричестве по крайней мере в 100 наиболее важных населенных пунктах, где она предпочтительна по сравнению с другими видами энергоносителей. Однако к такой крупномасштабной малой атомной энергетике страна еще не готова, но мы с надеждой смотрим в будущее. Пуск в 1976 г. Билибинской АЭС, мощность которой была наращена до 48 МВт, положил начало атомной энергетике на Севере [13].

Станции малой мощности — это особый вид атомной энергетики со специфическими для нее требованиями. Прежде всего — повышенная безопасность. Подобная задача решалась для атомных станций теплоснабжения. Этот опыт будет использован в полной мере:

- максимальная простота и надежность, модульность поставки на площадку и отсутствие среднего ремонта в течение всего срока службы;
- снижение энергонапряженности активных зон, имеющих энергозапас на весь срок службы, по крайней мере, у станций нижнего ряда мощностей;
- саморегулируемость и самозащищенность реакторов за счет отрицательных обратных связей с высоким уровнем естественной циркуляции, что позволяет существенно упростить автоматику и создает предпосылки к использованию систем дистанционного управления станцией;
- малоактивируемые материалы как для элементов конструкций, так и биологической защиты.

Нужен особый подход к конструкции биологической защиты и самой шахты, в которой станция будет располагаться, чтобы создать возможности освобождения от контроля площадку согласно современным нормативным требованиям как по удельной активности бетонов и грунта, так и по суммарной их активности. Атомные станции малой мощности (АСММ) потребуют также особой инфраструктуры и системы подготовки кадров. В целом могут потребоваться принципиально новые решения даже при использовании уже отработанной технологии.

С 1982 г. в РНЦ КИ работает установка «Гамма» — прототип необслуживаемого реактора с водой под давлением, с загрузкой топлива на весь срок службы. Все его органы регулирования извлечены из активной зоны, и в рабочем состоянии реактор не имеет запаса реактивности. Уменьшение реактивности при выгорании топлива компенсируется снижением температуры замедлителя-теплоносителя. Высокий отрицательный коэффициент реактивности обеспечивает саморегулируемость реактора, изменяющего свою мощность в соответствии с ее потреблением без воздействия органов регулирования. Съем тепла в первом и промежуточном контурах осуществляется при естественной циркуляции теплоносителей. Разность температур между этими контурами позволяет вырабатывать термоэлектрическими преобразователями постоянный ток напряжением 127-220 В. В реакторной установке в рабочих условиях все части оборудования неподвижны. Самоподдерживающийся

водно-химический режим первого контура не требует системы водоочистки. Проектные характеристики установки «Гамма» были полностью подтверждены. На основе ее решений была предложена трехконтурная ядерная термоэлектрическая установка (ЯТЭУ) «Елена» для выработки 3 Гкал/ч тепла и 100 кВт электрической мощности. Дальнейшее повышение выработки электричества трудновыполнимо. Поэтому это направление дальнейшего развития не получило, так как небольшие поселки, энергоснабжение которых она могла обеспечить, признаны согласно новой концепции освоения Севера экономически нецелесообразными.

Конечно, атомные станции малой мощности имеют повышенную удельную стоимость, длительный срок окупаемости. Но видны перспективы снижения затрат: серийное производство, модульная поставка, исключение средних ремонтов (реакторы а/л «Арктика» проработали 24 года без заводского ремонта), сокращение обслуживающего персонала. Необходимо учитывать, что ряд месторождений полезных ископаемых невозможно освоить без атомных станций малой мощности. В некоторых северных районах, где создалась критическая, совершенно нетерпимая ситуация с энергоснабжением (Камчатка, Корякский национальный округ и др.). При определении приоритетов в создании АЭС для Севера должны быть учтены особенности этих регионов. Самые крупные населенные пункты размещены на побережьях морей или в долинах рек.

Кроме развития добычи полезных ископаемых, стране требуется решить на Севере и ряд других важнейших задач.

В последние годы существенно снизилась возможность контроля государства за стратегически важными районами Арктики и обеспечения безопасности северных и северо-восточных границ страны. Необходимо сохранить каркас инфраструктурных объектов и поселений, портов, задействованных государством для осуществления своих геополитических, телекоммуникационных и гидрометеорологических функций, военных баз и городков. Для снабжения теплом и электроэнергией этих объектов наиболее подходят плавучие атомные электростанции (ПАЭС). И с экономических позиций они наиболее предпочтительны.

Имеются примеры раннего истощения на Севере сотен месторождений цветных благородных металлов, нефти и газа в результате ускоренной их эксплуатации. Характерным примером является Кольский полуостров, где крупнейшие комбинаты по переработке полиметаллов в г. Печенга и г. Никель оказались без

Кольской руды, так как месторождения ее быстро истощились. Теперь приходится руду ввозить из Норильска. В конечной стадии жизненного цикла находятся месторождения в районе Билибинской АЭС и нефтяные скважины в районе Самотлора. В подобных случаях имеют преимущества ПАЭС. При отсутствии их необходимости на исчерпавшем свои ресурсы прииске они могут быть передислоцированы на другие площадки. Немалым преимуществом ПАЭС является возможность их создания на судостроительных заводах в обжитых районах, доставка потребителю в отлаженном состоянии. На площадке они требуют минимальной инфраструктуры [14].

В настоящее время наиболее продвинуты проекты атомных станций в плавучем исполнении. Одна из них — «Певек» мощностью 60 МВт (э) с одновременным отпуском тепла 50 Гкал/ч, технический проект которой заканчивается в этом году. Здесь установлены два реактора КЛТ-40с, подтвердившие свои высокие качества на атомных ледоколах.

Другая — «Волнолом» с суммарной мощностью 12 МВт и отпуском тепла до 24 Гкал/ч. В декабре 1993 г. был подписан контракт с Балтийским судостроительным заводом о ее постройке, но из-за отсутствия денег этот проект не был осуществлен.

Плавучие атомные станции могут быть использованы и зарубежными потребителями, нуждающимися в электроэнергии и пресной воде. По своим технико-экономическим показателям они могут быть приемлемыми во многих регионах мира, причем такие станции могут иметь не обязательно водяной теплоноситель.

По мнению крупнейшей корпорации по добыче угля и производству электричества ESKOM, разрабатываемые сейчас с ее участием стационарные атомные станции средней мощности с газовым теплоносителем на 400–800 площадках в мире будут иметь преимущества перед станциями на органическом топливе.

За последние годы МАГАТЭ посвятило рассмотрению малых атомных станций 4 международные конференции, а в 1998 г. выпустило монографию «Применение ядерных энергетических установок для выработки тепла — аспекты проектирования и опыта эксплуатации», в которой отмечается, что при использовании атомных станций малой и средней мощности для производства тепла, электричества и пресной воды нет крупных технических проблем или проблем безопасности.

Некоторые нуждающиеся в энергетике страны имеют свободные средства. Но зарубежные заказчики требуют наличия

функционирующего образца, т.е. действующей АТЭС. Поэтому самая неотложная задача для завоевания рынка — создание головной плавучей станции «Певек», мощность которой привлекательна для зарубежных инвесторов.

К настоящему времени сформировалась следующая коммерческая схема реализации проекта: «Строю—владею—эксплуатирую», что позволяет освободить потребителей от крупных капитальных вложений. С потребителем заключается соглашение на покупку энергии, условия страхования рисков, гарантии. Владелец и эксплуатирующая организация ПАЭС — «Росэнергоатом».

Рынок спроса на станцию, вырабатывающую электроэнергию и обессоленную воду, довольно велик — это Китай, Индонезия, Индия, Южная Корея, страны Ближнего Востока, Средиземноморье, Африка, Южная Америка. Поэтому возможна организация международной деятельности по инвестированию и реализации проекта головной ПАЭС.

Однако ключевым фактором является доверие общественности к безопасности, надежности, экономичности и экологической чистоте станции.

7. Признание общественностью достаточной безопасности атомной энергетики для Севера

Без признания общественностью достаточной безопасности атомной энергетики для обеспечения нужд Севера расширение сфер ее применения будет встречать значительные трудности даже в тех регионах, где ее преимущества перед другими видами энергетики бесспорны.

При анализе рассматриваемой проблемы и обсуждении ее с общественностью обычно упускают из виду, что радиоактивные вещества и ионизирующие излучения являются одним из естественных природных факторов, сопровождающих человечество на всем протяжении его существования.

Радиоактивные элементы входят в состав почвы, минералов, морской воды, атмосферы. Их содержание в ряде районов отличается довольно сильно. Да и в одном и том же месте колебания естественного фона могут быть значительны (в 2 раза и более). Общее количество радионуклидов на поверхности земли и в воде океанов — многие миллиарды кюри.

В среднем доза облучения человека от естественных источников составляет 2,4 мЗв/год. К этому надо добавить вклад медицинских процедур, дающих увеличение дозы еще на 30%.

Сопоставляя уровни получаемых населением доз от естественно-го фона с уровнями доз от всех атомных энергетических реакторов в мире (наземных и морских), можно отметить, что последние вносят вклад меньше 1 % в условиях нормальной эксплуатации.

Реально общественность беспокоит возможность, хотя и с малой вероятностью, серьезной аварии на объекте: из-за недостатков конструкции, слабой дисциплины и квалификации обслуживающего персонала, культуры безопасности и возможности террористических акций. Дополнительное беспокойство вызывает медленное решение вопросов обращения с радиоактивными отходами.

Поэтому главный предмет обсуждения с общественностью — меры, которые предпринимаются для устранения этих недостатков атомной энергетики, в некоторых случаях специфичных для Севера с малой плотностью населения и высокой уязвимостью природы. Общественность должна знать о новых подходах в проектировании и строительстве ядерных энергетических установок. Разработка саморегулируемых и самозащищенных реакторов, использование самосрабатывающих и пассивных защитных систем, надежных локализирующих систем, повышенная надежность и ресурс оборудования, живучесть установок существенно снижают как вероятности аварий, так и их последствия.

В новых установках благодаря ряду мер значительно уменьшается и количество газообразных, жидких и твердых радиоактивных отходов.

Общественность должна знать, какие задачи на Севере решаются наиболее оптимально с помощью атомной энергетики, а также неиспользованных ее возможностях.

Довольно скупо в нашей печати освещается работа атомных ледоколов на трассах СМП, условия службы и быта членов экипажей, многие из которых проработали здесь десятки лет, вплоть до ухода на пенсию.

Для населения страны представляет большой интерес достигнутый уровень надежности и ресурс атомных энергетических установок. Назначенный ресурс в 100 000 ч и 26 лет службы на некоторых ледоколах превзойден без проведения предусмотренных заводских ремонтов. Последний рейс а/л «Арктика» продолжался год без захода в порты и при непрерывной работе установки. К моменту его окончания наработка оборудования установки достигла 143 000 ч.

Информация о работе атомных установок должна быть полной и всесторонней, чтобы общественность имела возможность разоб-

раться в существе дела, а если происходят какие-либо события, то насколько они серьезны.

Более 40 лет за состоянием здоровья членов экипажей атомных ледоколов, обслуживающих судов и персонала базы Атомфлота, наиболее соприкасающихся с судовой атомной энергетикой, ведет наблюдение Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины. За это время обследованы более 9000 чел., в том числе с углубленными клиническими исследованиями более 1000 чел. Накоплен большой фактический материал, выявлены наиболее неблагоприятные факторы, влияющие на здоровье. Более высокая заболеваемость наблюдалась у судоводителей, испытывающих сильное нервно-психическое напряжение. У персонала, обслуживающего оборудование ЯЭУ и подвергающегося в большей мере воздействию имеющегося излучения, заболеваемость значительно ниже. Заболеваемость членов экипажей судов на органическом топливе, работающих на трассе СМП, значительно выше. По-видимому, здесь все-таки сыграли свою роль менее строгий отбор персонала и худшие бытовые условия. Пока вопросы состояния здоровья членов экипажей атомных судов освещались только в специальной литературе.

С 2000 г. выпускается хорошо оформленный журнал Ядерного общества России. Надо шире использовать это издание. Необходимо находить взаимопонимание со средствами массовой информации, обеспечить им возможность оперативно и в предельно полном объеме получать информацию и доводить ее до широких слоев населения.

8. Заключение

В докладе даны предложения, которые непросто осуществить в ближайшие годы из-за трудного положения страны. Но жить только сегодняшним днем, не заглядывая хотя бы в ближайшее будущее, близоруко. Север для страны жизненно необходим, и правильное определение политики по отношению к Северу — дело необычайно важное. Как точно отметил академик В.И.Осипов, директор Института геоэкологии РАН: «Север хорош, но сложен, и осваивать его надо с умом».

Нельзя рассматривать энергетику Севера по частям — только освоение месторождений или транспорт углеводородов, или АЭ, или применяемые там технологии. Более того, нельзя сосредоточиться только на поисках дешевого и экологически безопасного пути к

природным кладовым. Нельзя забывать и об обеспечении безопасности страны с северных направлений.

Стране необходимы стабилизация социально-экономического положения северных областей, обеспечение экономической активности и переход к устойчивому развитию арктических регионов. Должна быть разработана стратегия общественно-экономического и политического развития северных регионов, занимающих более половины страны, где сосредоточены крупнейшие месторождения полезных ископаемых. И с Севера надо не бежать, к чему призывают деятели с высоких трибун, а за него держаться надо.

Из первоочередных задач отметим следующие:

1. Необходимо продлить ресурс эксплуатирующихся атомных ледоколов до 150—175 тыс. ч, чтобы они смогли работать до 2010 г. Без этого нельзя обеспечить прогнозируемый рост грузопотоков до 12 млн т по СМП. Очень важным условием успеха продления сроков эксплуатации атомных ледоколов является сохранение квалифицированных кадров.
2. Необходимо срочно достроить а/л «50 лет Победы» и начать разработку новых более мощных атомных ледоколов, которые смогут существенно расширить сроки навигации и обеспечить плановость поставки грузов по всей трассе СМП, что особенно важно для развития транзитных перевозок.
3. В ближайшее время надо завершить проектирование и построить ПАЭС типа «Певек» и «Волнолом», которые позволят снять кризисные ситуации в энергообеспечении ряда северных побережий. При наличии действующих головных образцов появится возможность завоевания зарубежного рынка, потребности которого в подобных станциях значительны.

Большую помощь в работе над этим докладом оказали сотрудники РНЦ «Курчатовский институт» В.П.Кузнецов, В.П.Быков, Б.Г.Пологих, В.И.Макаров, Т.В.Дудинская, Г.А.Демина и ряд других сотрудников ИЯР, которым автор выражает искреннюю признательность.

Список литературы

1. Моисеев Н.Н. Северный морской путь — одна из важнейших опор благополучия России. — В кн.: V Александровские чтения. — М.: РНЦ КИ, 1999.
2. Матишов Г.Г. Современные проблемы океанологии и географии океана. — Вестник РАН, 2000, т. 70, № 8, с. 681—687.
3. О разработке ТЭО создания и строительства нового поколения атомного флота и разработка ТЗ на два типа ледоколов (Решение Минатома и Минтранса). Мурманск, 1999.
4. Проектные предложения по перспективным ледоколам. С.-Петербург: ОАО ЦКБ «Айсберг», 1999.
5. Пересыпкин В.И., Рукша В.В. Предложение ЗАО ЦНИИМФ и АОА ММП по развитию ледокольного флота России и обоснование необходимости строительства атомных ледоколов нового поколения. — М., 1999.
6. Атомный флот России (1959—1999 гг.). — Мурманск: АОА «Мурманское морское пароходство», 1999.
7. Дмитриевский А.Н. Восточные нефтегазовые проекты. — В кн.: Энергетика XXI в. и роль России. — М., 1999.
8. Пономарев-Степной Н.Н. Ядерная энергетика России XXI в. — В кн.: Энергетика XXI в. и роль России. — М., 1999.
9. Кутейников А.В. Трансарктическая подводная транспортная система. — Русско-японский круглый стол, Москва, 1999.
10. Лавковский С.А. Подводно-подледный комплекс для разработки месторождений углеводородов на глубоководном шельфе Арктики и Дальнего Востока. — Русско-японский круглый стол, Москва, 1999.
11. Быков В.П., Беликов Е.П., Кузнецов В.П., Хлопкин Н.С. Об использовании ядерной энергетики для разработки морских месторождений нефти и газа на арктическом шельфе России. — Японский форум, февраль 2000 г.
12. Арикайнен А.И. Транспортная артерия Советской Арктики. — М.: Наука, 1984.
13. Бабахин А.И. Малая атомная энергетика для отдаленных районов Сибири и Севера. — М., 1999.
14. Игнатенко Е.И., Клыков Д.М., Коваленко В.К., Полушкин А.К. Плавающие атомные энергетические блоки для отдаленных и развивающихся районов. — Симпозиум по судостроению, судоходству и разработке шельфа. С.-Петербург, 1995.

ПЛАВУЧИМ СТАНЦИЯМ — МЕЖДУНАРОДНЫЙ СТАТУС*

Н.С. Хлопкин

В последнее время были достигнуты большие успехи в повышении эффективности использования органического топлива. КПД современных парогазовых и дизельных установок достигает 50%. Это создает дополнительные трудности в использовании атомной энергии. Но, тем не менее, есть области, где атомная энергетика сохраняет свою конкурентоспособность. В России это регионы Центра, Урала, Дальнего Востока для большой атомной энергетике и области децентрализованного энергоснабжения — Север, Дальний Восток для малой атомной энергетике.

В своем докладе я ограничусь сферой применения плавучих атомных станций, разрабатываемых на основе проверенной технологии и оборудования морских ядерных энергетических установок.

Плавучее исполнение энергоблока позволяет осуществить его постройку в обжитых районах, на крупных судостроительных заводах, имеющих освоенную, отлаженную и проверенную многолетней практикой технологию.

После испытаний на заводе блок в состоянии «под ключ» направляется потребителю, не требуя ни монтажа, ни отладки в сложных и не приспособленных для этого условиях.

Благодаря указанным обстоятельствам повышается качество изготовления оборудования и существенно сокращаются строительно-монтажные работы на площадке.

Плавучие АЭС могут служить источниками энергии в районах с неразвитой инфраструктурой на побережьях. Они могут быть использованы и для получения значительных количеств пресной

* III Александровские чтения. Февраль 1998 год. г.Москва, РНЦ КИ, 1998

воды из морской в южных странах. Когда эти источники энергии будут не нужны, их можно будет отбуксировать на другие площадки, где потребуются их энергия.

Плавучие атомные станции могут также служить мощным аварийным источником электроэнергии и тепла в районах стихийных бедствий.

Плавучие АЭС — это одна из областей мирового хозяйства, где мы можем получить рынки сбыта внутри страны и за рубежом. Наша страна в наибольшей степени подготовлена к этому, так как обладает богатым опытом постройки и эксплуатации морских коммерческих установок. Польза расширения рынка сбыта для нас очевидна. Серийность изготовления существенно снизит стоимость установок и повысит их конкурентоспособность.

Одновременно сохраняется, развивается, совершенствуется технология установок, которые можно будет использовать и на атомных ледоколах, и для подледных и подводных энергоисточников при освоении шельфа Северных морей, и для других целей.

К плавучим станциям проявляют интерес и за рубежом. Индонезия, Китай и Филиппины предполагают их использовать для выработки электричества и тепла, а южные страны Азии, Африки, Южной Америки — для обессоливания воды в прибрежных районах.

Сейчас ведется проектирование плавучих энергоблоков в нескольких странах под определенные условия эксплуатации.

В России наиболее технически подготовлены к ближайшей реализации плавучие энергоисточники с ядерными установками типа АБВ-67 и КЛТ-40, существенно различающиеся по мощности. Обе установки имеют в своем составе реакторы с водой под давлением, воплотившие опыт эксплуатации и технологию изготовления морских реакторов. На второй применены реакторы, подтвердившие свои характеристики в течение более чем 25 лет при эксплуатации на атомных ледоколах.

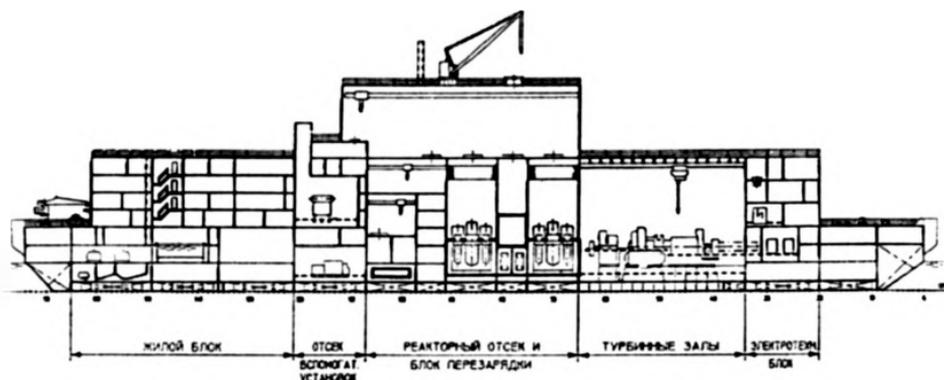
Головной образец этой станции (индекс «Певек») предлагается для энергоснабжения крупного порта на Северном морском пути Певек, вблизи которого к тому же расположены уникальные месторождения золота и олова. По своей производительности, по теплу и электроэнергии эта станция подходит для энергообеспечения еще трех—четырёх крупных населенных пунктов с их промыслами на побережье Чукотского полуострова.

Согласно предварительным проработкам энергоблок будет иметь следующие показатели:

Длина по КВЛ	140 м
Ширина	30 м
Осадка	4,5 м
Водоизмещение	18,400 т
Тепловая мощность РУ	2x148 МВт
Турбогенераторная установка	2x35 МВт
Выдаваемая электрическая мощность ...	2x30 МВт
Количество выдаваемого тепла	2x25 Гкал/ч
Срок службы	40 лет
Срок службы до заводского ремонта	12 лет

Эти станции могут служить источником энергии для выработки до 240 тыс.т пресной воды в сутки, а при меньшей производительности еще обеспечивать берег электроэнергией.

Плавающий энергетический блок



Ресурсные характеристики АЭС. Очень важны для станции ресурсные характеристики оборудования и систем. Для первой станции они определены в 40 лет службы и 12 лет до заводского ремонта. Для последующих проектов они подлежат уточнению. Основания к тому следующие.

Ресурс атомных установок атомного ледокола «Ленин» достиг 19,5 лет при работе на мощности 108 тыс.ч, у «Арктики» — 26 лет и 143 тыс.ч при работе на мощности. Надо еще иметь в виду, что ледокол «Ленин» был выведен из эксплуатации не по состоянию атомной установки, а вследствие износа общекорабельных систем, проработавших более 30 лет.

Если учесть более интенсивное использование реакторной установки атомной станции (до 8000 ч/год вместо в среднем 5500 ч/год для ледоколов), то ресурсу 143 тыс.ч (достигнутому на «Арктике») будет соответствовать срок службы до заводского ремонта 18 лет.

Конечно, играют большую роль срок службы и энергозапасы активных зон. К настоящему времени есть отработанные и проверенные годами активные зоны, обеспечивающие работу на мощности в течение 3,5-4 лет.

При наличии на борту шести хранилищ топливных загрузок можно обеспечить работу АЭС без вывоза топлива в течение 15-16 лет.

Таким образом, необходимость в создании специальной обслуживающей базы для вывоза топлива и радиоактивных отходов в промежутках между заводскими ремонтами может уменьшиться и даже отпасть.

Особо следует рассмотреть снижение обогащения топлива до 20%. Повысить энергозапас активных зон с таким обогащением топлива потребует значительных усилий.

Безопасность ПАЭС. Проект ПАЭС соответствует Российским правилам по ядерной и радиационной безопасности, правилам Регистра, Международному кодексу по безопасности судов, рекомендациям МАГАТЭ.

Главная проблема безопасности — это тяжелые аварии, вероятность которых можно снизить, но полностью нельзя не исключить.

Чтобы уменьшить тревогу населения, были предприняты поиски новых подходов к атомной энергетике и создания станций, достаточно безопасных не только по мнению тех, кто верит в атомную энергетiku, но и тех, кто в ней сомневается.

Достаточно высокий отрицательный эффект Доплера у топлива и отрицательный температурный и пустотный коэффициенты реактивности по замедлителю во всем диапазоне температур снижают реактивность и ограничивают рост мощности при повышении температуры в реакторе. Высокий уровень естественной циркуляции теплоносителя первого контура обеспечивает съем тепла в активной зоне даже при полном обесточивании установки. Повышенная жаростойкость примененных в активной зоне материалов допускает их значительный перегрев без разрушения топлива. Снижена энергонапряженность активных зон. В результате вероятность разрушения активной зоны уменьшена до 10^{-7} на реактор-год.

Конечно, здесь получили дальнейшее развитие и дублированные пассивные и активные системы безопасности, включающиеся при

возникновении отказов оборудования и снижающие возможность перерастания этих отказов в аварию.

Во многоэшелонированной защите усилены барьеры на пути распространения радиоактивных продуктов в случае возникновения аварии. Защитная оболочка и защитное ограждение оборудования реакторной установки превращены в двойной контейнмент.

Не менее важен при обеспечении безопасности человеческий фактор. Ни один человек не гарантирован от совершения ошибок. Никакая сложная техника не терпит безответственности и действий «на авось». На станции многие подобные действия нейтрализованы системами автоматики и блокировок. Очень важную роль играют свойства саморегулирования реактора, его возможности отрабатывать внешние возмущения и следовать нагрузке без вмешательства органов регулирования.

Общественное мнение оказывает сильное влияние на решения, связанные с использованием атомной энергетики. Поэтому существует объективная необходимость доказать обществу, что приемлемый уровень безопасности плавучей атомной электростанции обеспечен и соответствует мировому уровню. При этом надежно локализованы все отходы, включая и отработавшее топливо, а после снятия станции с эксплуатации на площадке, где она размещалась, будет обеспечена нормальная радиационная обстановка. Проектирование, постройка и эксплуатация станции могут быть осуществлены только в том случае, если местное население проявит заинтересованность в ее использовании. На всех стадиях создания станции должна быть обеспечена возможность ознакомления различных комиссий, состоящих из компетентных специалистов, представляющих интересы всех групп населения региона, где будет эксплуатироваться станция.

В целом можно сформулировать положения по безопасности ПАЭС в форме, доступной для понимания населения:

1. Станция не требует эвакуации населения как средства защиты при тяжелых авариях.
2. Станция не создает радиоактивных отходов для пользователя и площадки.
3. Станция создана на основе освоенной и проверенной длительной эксплуатацией технологии.
4. Плавучее исполнение — средство повышения качества, экономии времени и сокращения сроков постройки.
5. Оборудование станции имеет большой ресурс и не требует частых заводских ремонтов в течение всего срока службы.
6. Внешняя инфраструктура энергоблока минимальна.

7. Высокие качества станции и минимальное ее воздействие на окружающую среду будут подтверждены работой головного блока.

Для выхода ПАЭС на внешний рынок нужна общепризнанная нормативная документация, учитывающая специфику этих станций. К ее разработке можно приступить уже сегодня.

Экономика станции. Зоны Крайнего Севера, Дальнего Востока, Камчатки не охвачены централизованным энергообеспечением.

Возобновляемые источники — энергия ветра и воды, солнца, местные виды топлива — древесные отходы, торф и уголь еще долгое время не в состоянии решить проблему энергообеспечения. Поэтому в такие районах велика доля крайне дорогого привозного топлива. Стоимость завоза дизельного топлива составляет: для Камчатки, Магаданской области 2,5 руб./кг, для Таймыра и Чукотки 2,7 руб./кг, для Корякского и Ненецкого национальных округов 3,2 руб./кг.

Общие затраты на проектирование, постройку, испытания, доставку к месту работы и строительство береговых сооружений и инфраструктуру составят 254 млн дол. для головной и 186 млн для серийной (в ценах 1995 г.).

Эксплуатационная составляющая, включая обслуживание ЯЭУ, общесудовых систем, содержание обслуживающего персонала, затраты на обслуживание плавтехбазой, снятие с эксплуатации (10% капитальных затрат), плату за кредит (7% капитальных затрат) и страховку составят 53 млн дол.

При выдаче только электроэнергии стоимость ее составит 10—15 центов за 1 кВт·ч, что существенно ниже стоимости электроэнергии для северных районов. При выдаче одновременно тепла стоимость энергии существенно снижается.

Окупаемость станции — не более 10—15 лет.

При использовании опреснительной двухступенчатой установки на основе обратного осмоса цена 1 м³ питьевой воды составит около 1,3 дол., при одновременной продаже населению электричества она снижается до 1 дол. Как мы надеемся, возможная унификация ЯЭУ АТЭС с установками ледоколов и судов будущего, высокоэффективное серийное изготовление заметно улучшают эти экономические показатели.

При рассмотрении экономических характеристик ПАЭС необходимо учитывать еще один аспект — риск поставщика станции. К моменту окончания постройки потребитель может утратить к ней интерес вследствие изменившихся обстоятельств. В этом случае

плавучее исполнение станции позволяет свести риск поставщика к минимуму, он не теряет имущество, а доставляет его другому пользователю.

Создание головной ПАЭС — неотложная задача. Заинтересованность в плавучей станции велика не только в России, но и за рубежом. Недостатка в желающих получить электроэнергию, тепло и воду с ПАЭС нет. Однако чтобы этому направлению дать практический ход, нужна головная станция, подтверждающая заявленные характеристики.

В настоящее время определена производственная кооперация исполнителей и идет разработка, сдерживаемая недостатком средств, технического проекта по энергоблоку, реакторной установке, электрооборудованию и береговым сооружениям. Но главным препятствием на пути создания головной ПАЭС являются трудности финансирования. Ввиду отсутствия платежеспособного спроса на энергию в Певеке в настоящее время головную плавучую АЭС решено строить в г. Северодвинске.

Поскольку есть предпосылки выхода последующих энергоблоков на международные рынки, необходимы серьезные усилия для привлечения зарубежных инвесторов. Зарубежные партнеры могут быть разработчиками и поставщиками отдельных видов оборудования. Россия же будет не только поставлять реакторы, топливо и блок, но и осуществлять в дальнейшем эксплуатацию и сервисное обслуживание блока, включая обращение с топливом и всеми радиоактивными отходами.

Конечно, при создании головного блока придется считаться с тем, что инвесторам потребуется сначала увидеть и убедиться в достижении заявленных показателей станции и добротности ее конструкции и только после этого вкладывать свои средства. Но у нас есть проверенные и хорошо зарекомендовавшие себя в работе ледокольные установки, являющиеся прототипами ядерных энергетических установок плавучих энергоблоков. Поэтому привлечение зарубежных инвесторов к реализации программы многоцелевых плавучих АЭС дело не безнадежное. Для этого ПАЭС должна иметь международный статус. Уже сейчас, не откладывая дело в долгий ящик, можно начать:

- широкие исследования с целью определения возможных потребителей (особенно зарубежных) и уточнение рынка сбыта;
- разработку нормативной технической базы, соответствующей мировому уровню; убеждение потенциальных потребителей в экономической целесообразности использования

плавучих атомных энергоблоков и в их полной безопасности и экологической чистоте;

— содействие проекту через программу МАГАТЭ по техническому сотрудничеству.

Но при всем этом надо помнить, что только постройка головного образца позволит преодолеть бюрократизм и препоны, связанные с выходом ПАЭС на отечественный и тем более на международный рынок.

ЛИТЕРАТУРА

Игнатенко Е.И., Клыков Д.М., Коваленко В.К., Полушкин А.К. Плавучие атомные энергетические блоки для отдаленных и развивающихся районов. — В кн.: Симп. по судостроению, судоходству и разработке шельфа (Санкт-Петербург, 12—16 сентября 1995 г.)

Основные этапы жизни и деятельности

- 9 авг. 1923 г. Родился в деревне Ильинки Петушинского р-на Владимирской области
- 1940 г. Окончил среднюю школу и стал студентом Московского энергетического института
- 1942 г. Призван в армию. Закончил обучение в Тамбовском Военно-пехотном училище и в звании лейтенанта направлен на Воронежский фронт.
В сентябре тяжело ранен
- 1942–1943 гг. На излечении в госпиталях
- 1943 г. В декабре вернулся в строй. Назначен помощником начальника штаба стрелкового полка — ПНШ-6
- 1944 г. Участие в боях под Житомиром, Львовом, форсирование Вислы. Сандомирский плацдарм. Назначен ПНШ-1 — помощником начальника штаба
- 1945 г. Форсирование Одера, Шпрее, бои под Бреслау, Берлином, форсирование Эльбы.
Боевые награды — 2 ордена Красной Звезды, орден Отечественной войны II ст., медали.
Открылись раны — лечение в госпитале. Демобилизован в звании капитан.
В октябре — студент Московского энергетического института
- 1948 г. Женился на Андрониной Анне Васильевне
- 1949 г. Лаборант ЛИПАН (по совместительству)
- 1950 г. Окончил МЭИ по специальности теплофизика. Назначен в ЛИПАН инженером
- 1950–1953 гг. Исследования по повышению работоспособности топливных блочков промышленных реакторов
- 1953 г. Переведен на должность научного сотрудника. Назначен руководителем группы по разработке ядерного реактора ледокола

- 1954 г. Награжден орденом Знак Почета за работы по промышленным реакторам
- 1956 г. Защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук
- 1957–1959 гг. Участие в работах по подготовке и проведению комплексных швартовных испытаний а/л «Ленин»
- 1960 г. Ленинская премия за работы по ядерной энергетической установке а/л «Ленин»
Переведен на должность старшего научного сотрудника
- 1962 г. Назначен начальником Лаборатории и заместителем директора ИАЭ А.П. Александрова по морским ядерным энергетическим установкам
- 1966 г. Назначен начальником сектора
- 1967 г. Участие в комплексных швартовных испытаниях головных подводных лодок II поколения
- 1968 г. Назначен заместителем начальника отдела по транспортным установкам. Защитил диссертацию на соискание степени доктора технических наук
- 1970 г. Награжден орденом Ленина за работы по ЯЭУ подводных лодок II поколения
- 1974 г. Назначен начальником отдела по транспортным установкам
- 1976 г. Избран членом-корреспондентом АН СССР. Назначен заместителем директора отделения ядерных реакторов
- 1977 г. Участие в подготовке рейса и в рейсе а/л «Арктика» к Северному полюсу.
Присвоено звание Героя Социалистического труда с вручением медали Золотая Звезда и ордена Ленина
- 1980 г. Участие в комплексных швартовных испытаниях тяжелого атомного ракетного крейсера «Киров»
- 1985 г. Присуждена Государственная премия за работы по ЯЭУ крейсера
- 1992 г. Избран действительным членом АН СССР
- 1993 г. Назначен директором отделения транспортных ядерных реакторов
- 2001 г. Назначен заместителем директора Института ядерных реакторов
- 2003 г. Присуждена золотая медаль РАН имени А.П. Александрова

Содержание

БИОГРАФИЧЕСКИЙ ОЧЕРК	5
<i>Н.С. Хлопкин</i>	
ЛИЦОМ К ЛИЦУ	28
<i>Н.С. Хлопкин</i>	
АТОМНЫЙ ЛЕДОКОЛ «ЛЕНИН»	36
<i>А.П.Александров, И.И.Африкантов, А.И.Брандаус, Г.А.Гладков, Б.Я.Гнесин, В.И.Неганов, Н.С.Хлопкин</i>	
СОЗДАНИЕ ПЕРВОЙ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЛЕДОКОЛА	66
<i>Б.Г. Пологих, Н.С. Хлопкин</i>	
ТРАНСПОРТНЫЕ РЕАКТОРЫ	96
<i>Н.С. Хлопкин</i>	
СОЗДАНИЕ КОРАБЕЛЬНЫХ АТОМНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПОДВОДНЫХ ЛОДОК И НАДВОДНЫХ КОРАБЛЕЙ	110
<i>Н.С. Хлопкин</i>	
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ АТОМНОГО ФЛОТА	126
<i>Н.С. Хлопкин</i>	
МЫ ПРИШЛИ К ТЕБЕ, ПОЛЮС!	148
<i>Н.С. Хлопкин</i>	
АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА ДЛЯ ОСВОЕНИЯ СЕВЕРА	158
<i>Н.С. Хлопкин</i>	
ПЛАВУЧИМ СТАНЦИЯМ – МЕЖДУНАРОДНЫЙ СТАТУС ...	181
<i>Н.С. Хлопкин</i>	
ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ЖИЗНИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	189

Н.С. Хлопкин

Страницы жизни

Книга издается в авторской редакции

Компьютерная вёрстка: Б. Оводов

Подписано в печать 11.08.03. Формат 60х90/16
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 13,5. Тираж 1000 экз.
Заказ № 8486

Издательство по Атомной науке и технике ИздАТ
Международной Ассоциации Союзов «Чернобыль-Атом»
123182, Москва, ул. Живописная, д. 46: тел. 190 9097

Московская типография № 2 РАН
121099, Москва, Г-49, Шубинский пер. 6