



Г.А. Гладков, А.Д. Жирнов, Г.А. Станиславский,
В.К. Уласевич, Р.А. Шмаков

ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ ПЕРВОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ АТОМНОЙ ПОДВОДНОЙ ЛОДКИ



Г.А. Гладков, А.Д. Жирнов, Г.А. Станиславский,
В.К. Уласевич, Р.А. Шмаков

ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ ПЕРВОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ АТОМНОЙ ПОДВОДНОЙ ЛОДКИ

Под ред. В.К. Уласевича

Москва
Изд-во "ГУП НИКИЭТ"
2002

УДК 621.039.578

Издание подготовлено по решению Министерства РФ по атомной энергии.

Г112 Г.А. Гладков, А.Д. Журнов, Г.А. Станиславский, В.К. Уласевич, Р.А. Шмаков. История создания первой отечественной атомной подводной лодки/Под ред. В.К. Уласевича. М.: ГУП НИКИЭТ. 2002.

ISBN5-86324-048-2

Книга рассказывает о рождении и становлении отечественной корабельной ядерной энергетики, о разработке, строительстве и эксплуатации первой в СССР атомной подводной лодки.

Книга рассчитана как на специалистов, работающих в этих областях науки и техники, так и на более широкий круг читателей, интересующихся историей создания атомного флота страны.

ISBN5-86324-048-2

© Изд-во "ГУП НИКИЭТ", 2002

© Авторы, 2002

Содержание

Предисловие	4
Введение	5
Глава 1. Ядерная энергетическая установка	8
1.1. Допроектные работы	8
1.2. Проектирование установки	15
1.3. Изготовление оборудования, монтаж и испытания ЯЭУ на наземном стенде	31
1.4. Изготовление ЯЭУ для опытной АПЛ	40
Глава 2. Атомная подводная лодка пр. 627	42
2.1. Проектирование АПЛ. Основные тактико-технические характеристики	42
2.2. Изготовление оборудования, строительство, испытания АПЛ	55
Глава 3. Эксплуатация АПЛ	68
3.1. Общие сведения об эксплуатации АПЛ	68
3.2. Опытная эксплуатация АПЛ	69
3.3. АПЛ «К-3» в составе Северного флота	71
3.3.1. Подготовка к походу на Северный полюс	71
3.3.2. Поход к Северному полюсу	73
3.3.3. Замена реакторного отсека АПЛ	76
3.3.4. Автономный поход АПЛ после замены реакторного отсека	77
3.4. Научно-техническое и организационное обеспечение эксплуатации АПЛ ...	81
3.5. Аварии на АПЛ «К-3»	85
Заключение	96
Список сокращений	97
Коротко об авторах	97

Предисловие

В 2000-2001 гг. по заказу Минатома РФ авторским коллективом специалистов РНЦ “Курчатовский институт”, ФГУП НИКИЭТ и СПМБМ “Малахит” на основе архивных материалов подготовлена документальная история создания первой в СССР атомной подводной лодки.

Представляется, что в год 50-летия НИКИЭТ результаты проделанной работы заслуживают опубликования, тем более, что АПЛ и институт юридически рождены 9 сентября 1952 г. одним постановлением Совета Министров СССР. В действительности их истории начались значительно раньше – еще во второй половине 1940-х годов, когда под руководством И.В. Курчатова, А.П. Александрова, основателя НИКИЭТ Н.А. Доллежала и других выдающихся ученых-атомщиков были сделаны первые шаги в неоружейном использовании ядерной энергии. О трудных поисках путей в этом направлении, о поступательном движении технической мысли в новых областях корабельной энергетики, о деятельности НИКИЭТ как организации главного конструктора ядерной энергоустановки для АПЛ пр. 627, о совместной с ним работе других организаций и предприятий читатель узнает из предлагаемой книги.

Авторы сознательно не загружали ее перечислением всех, кто принимал участие в создании, вводе в строй и эксплуатации АПЛ и энергоустановки, ограничившись лишь упоминаниями руководителей наиболее значительных работ. Мы надеемся, что это будет встречено с пониманием, поскольку большинство фамилий участников тех далеких событий уже неоднократно публиковались в научно-технической и мемуарной литературе.

В заключение авторы выражают признательность Б.П. Папковскому за сделанные в ходе подготовки рукописи полезные замечания и В.В. Пичугину – за оказанную помощь в поиске ценных документов.

В.К. Уласевич

Введение

Мировая история подводного кораблестроения – это в значительной мере история поиска такой энергетики для подводных лодок, которая наилучшим образом обеспечивала бы большую, практически не ограниченную дальность их плавания, возможности скрытно без всплываний и с высокими скоростями перемещаться на большие расстояния в морских глубинах и наносить оттуда удары противнику. Наряду с развитием фундаментальных и прикладных исследований и инженерных разработок по многим другим аспектам (от физики океана до проблем жизнеобеспечения на борту) создание мощного и компактного энергоисточника для подводных лодок, одинаково эффективно работающего как над, так и под водой – “единого двигателя” – были целью усилий не одного поколения конструкторов и исследователей в разных странах. Положение кардинальным образом изменилось к середине XX века, когда на основе выдающихся научных достижений в атомной физике появились реальные возможности использования принципиально нового вида топлива – ядерного.

Своим рождением подводный, а затем и надводный атомные флоты СССР в решающей степени обязаны созданию первой отечественной корабельной ядерной энергетической установки. Именно осмысление путей применения появившихся в конце 1940-х – начале 1950-х годов необычных устройств – ядерных реакторов – для энергетических целей, в том числе на море, инициировало начало проектирования кораблей и судов нового типа. Идеи использования невиданной по концентрации энергии, выделяющейся в процессе деления тяжелых ядер, не только в разрушительных целях появились у ученых и инженеров уже в ходе создания ядерного оружия. Подтверждению возможности практического осуществления этих идей в нашей стране способствовали разработки, сооружение и эксплуатация первых промышленных ядерных реакторов, первой в мире опытной АЭС. Вместе с тем появившиеся замыслы использовать ядерные источники энергии на флоте, и прежде всего подводном, имели особое значение. При этом могла быть принципиально решена не только задача создания двигателя, способного обеспечить кораблю новые качества. Время показало, что в сочетании с новыми решениями по кораблям и их системам, новыми видами оружия ядерная энергетика коренным образом изменила стратегические, оперативно-тактические и технические возможности подводного флота, его роль в Мировом океане, что привело к существенной корректировке военных доктрин ведущих стран мира.

Как и в разработке ядерного оружия, в создании первой АПЛ нашей стране пришлось догонять США, опережавшие СССР в строительстве и вводе в эксплуатацию своей первой АПЛ “Наутилус” на 4-5 лет, догонять самостоятельно, решая при отсутствии аналогов множество взаимосвязанных научных и инженерных проблем создания новой области реакторостроения.

Прежде всего реализация достоинств ядерного топлива с его уникальной энергоемкостью для получения указанных выше качеств атомного корабля требовала поиска таких тепловых циклов и типа реактора, схем передачи тепла, конструкций оборудования, способов его резервирования, режимов работы энергоустановки, которые должны были удовлетворять тактико-техническим требованиям к кораблю, определяемым назначением АПЛ, ее боевыми возможностями, мореходными и скоростными качествами, автономностью, живучестью, скрытностью.

Во-вторых, должна была учитываться специфика эксплуатации ядерного объекта на море, т.е. маневры АПЛ, влияние кренов, дифферентов, качки, вибраций, изменения давления, температуры и солености морской воды, а также возможные боевые воздействия.

В-третьих, в отличие от лодок с традиционной энергетикой использование ядерных реакторов при естественных для этого класса кораблей весьма жестких массогабаритных ограничениях должно было обеспечивать условия для длительного и безопасного нахождения на АПЛ (т.е. в достаточно небольшом пространстве) экипажа, для надежной работы всей размещаемой на корабле техники и ее обслуживания и ремонтов, для периодической замены ядерного топлива, для базирования лодки.

В-четвертых, применение ядерной энергетикой определяло необходимость разработки не существовавших ранее технологий обслуживания АПЛ в береговых базах и формирования соответствующей инфраструктуры для реализации этих технологий.

Перечисленным, безусловно, не охватывается круг проблем, вставших перед создателями первой отечественной АПЛ и ее ЯЭУ. К новизне и сложности крупнейшей технической задачи уже в процессе ее решения добавились трудности, связанные с неизученностью многих процессов, протекающих в реакторной установке, несовершенством ряда технологий ее изготовления и монтажа, недостаточным качеством некоторых использовавшихся материалов, неотработанностью приемов эксплуатации, наконец, с исправлением неизбежных для совершенно новой техники просчетов разработчиков. Важнейшую роль в преодолении этих трудностей играли научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, к выполнению которых были привлечены ведущие организации страны по различным направлениям науки и техники. Большое значение имели также сооружение, пуск и начавшиеся испытания наземного стенда ЯЭУ, опыт выполнения которых и полученные результаты оперативно учитывались в процессе создания установки для первой АПЛ, ввода ее в работу, накопления опыта эксплуатации.

Применение ядерной энергетической установки самым существенным образом сказалось на облике и тактико-технических особенностях первой АПЛ, на ее конструкции. Необходимость реализации новых качеств, которые давала лодке новая энергетика, специфика компоновки ЯЭУ, обеспечение условий для ее монтажа, эксплуатации, обслуживания, ремонтов повлекли за собой поиск конструкторами АПЛ и специалистами ВМФ многих нетрадиционных подходов к проектированию подводной лодки. Это выразилось и в формировании необычных обводов и конструкции корпуса корабля, и в применении новых для него материалов, и в использовании на АПЛ новых технических решений по обеспечению скрытности лодки, по системам электроэнергетики и жизнеобеспечения, по торпедному оружию, самых совершенных на то время средств радиолокации, гидроакустики, навигации. В отличие от США, где АПЛ "Наутилус" представляла собой реконструкцию обычной подводной лодки, отечественная АПЛ пр. 627 со значительно более мощной ЯЭУ стала родоначальником нового класса подводных кораблей.

Шесть лет понадобилось создателям первой отечественной АПЛ с начала разработки ее проекта до сдачи корабля в опытную эксплуатацию. В ходе ее, а затем в течение нескольких последующих лет параллельно со строительством и вводом в строй АПЛ первого поколения шло познание новой техники, обретение опыта работы с нею,

исправление допущенных создателями кораблей и личным составом ошибок, совершенствование технических решений и приемов эксплуатации. Эти же годы были отмечены в нашей стране наглядными подтверждениями выдающихся качеств подводных лодок с принципиально новыми энергетическими установками – плаваниями АПЛ подо льдами, в том числе к Северному полюсу, длительными автономными походами в Мировом океане и др.

Решение крупнейшей задачи и последовавшее за ним массовое строительство кораблей с ЯЭУ стали поворотным этапом в качественном изменении потенциала военно-морских сил страны как одного из основных стратегических факторов ее обороноспособности. Создание первой атомной подводной лодки вызвало интенсивное развитие многих областей науки и техники, а первая отечественная корабельная ЯЭУ определила, по существу, основополагающие подходы, принципы формирования и структуру ядерных источников энергии, методы и приемы эксплуатации для последующего широкого использования их на атомных кораблях и судах нашей страны.

Глава 1. Ядерная энергетическая установка

1.1. Допроектные работы

Исторически сложилось так, что создание первой в СССР атомной подводной лодки было инициировано выдающимися отечественными учеными и конструкторами, работавшими над реализацией нашего Атомного проекта. Это вполне объяснимо: только они в конце 1940-х годов могли оценить возможности и перспективы использования огромной энергии, выделяющейся в процессе деления тяжелых ядер, и именно под их руководством и при непосредственном участии в обстановке строжайшей секретности разрабатывался первый в стране ядерный реактор для наработки плутония.

Как известно, общее руководство всеми работами в стране по Атомному проекту осуществлялось Специальным комитетом при Государственном Комитете Обороны СССР, а непосредственное руководство научно-исследовательскими, проектными, конструкторскими организациями и промышленными предприятиями, привлеченными к работам по проекту, – Первым Главным управлением при СНК (СМ) СССР, подчиненным Спецкомитету. Оба эти органа были образованы постановлением ГКО от 20 августа 1945 г. Примечательно, что одной из задач, возложенных на Спецкомитет, было и руководство строительством атомно-энергетических установок, а возглавляемый Б.Л. Ванниковым Технический совет Спецкомитета, в состав которого входили А.И. Алиханов, А.Ф. Иоффе, И.К. Кикоин, И.В. Курчатов, Ю.Б. Харитон и другие виднейшие ученые, был призван рассматривать планы научно-исследовательских работ по таким установкам и их проекты. В апреле 1946 г. в ПГУ поступает записка Президента АН СССР С.И. Вавилова с предложениями о развертывании широких исследований по использованию ядерной энергии в разных областях науки и техники. Подготовленный Академией наук СССР и ПГУ проект постановления правительства представляется С.И. Вавиловым, Б.Л. Ванниковым, М.Г. Первухиным и И.В. Курчатовым главе Спецкомитета Л.П. Берия. Характерно, что в этом проекте уже предусматриваются проработки “путей использования ядерных реакций для энергетических установок” Их намечается поручить Институту химической физики и Лабораториям № 2 и № 3 АН СССР с привлечением ЦКТИ и ВТИ. 13 декабря 1946 г. выходит соответствующее распоряжение СМ СССР.

Более предметно вопросы “использования тепла ядерных реакций в энергосиловых установках” рассматривались на НТС ПГУ 24 марта 1947 г. с участием И.В. Курчатова, Н.Н. Семенова, А.П. Завенягина, В.А. Малышева и др. Было решено приступить к научно-исследовательским и подготовительным проектным работам по атомным энергосиловым установкам применительно к кораблям, самолетам, электростанциям, локомотивам с привлечением к работам организаций соответствующих министерств. Научное руководство возлагалось на членов Совета – физиков И.В. Курчатова, А.И. Алиханова, Н.Н. Семенова. Определенную роль в том, что одним из направлений использования ядерной энергии была указана возможность создания корабельных установок, сыграли появившиеся в зарубежной печати сообщения о начале таких работ в США (подводные лодки, авианосцы), об организации там в августе 1946 г. Военно-морского научно-исследовательского управления.

И все-таки до конца 1940-х годов приоритетной задачей Спецкомитета и начавшей создаваться атомной промышленности было создание ядерного оружия. Поэтому проработки ядерных энергоустановок осуществлялись малочисленными научно-инженерными группами. Своего рода поддержкой этих работ стал утвержденный Советом Министров СССР план специальных научно-исследовательских работ на 1948 г., которым предусматривалась разработка проектных заданий (правда, только предварительных) по нескольким типам сравнительно больших (тепловой мощностью 300-500 МВт) реакторов на обогащенном уране. Среди них – реакторы с бериллиевым и графитовым замедлителями, охлаждаемые соответственно гелием и водой. Разработка заданий должна была осуществляться ЛИП и Институтом физических проблем АН СССР, НИИхиммаш с привлечением ОКБ “Гидропресс”, ГСПИ-11, ОКБ-12, ВИАМ и др.

Что касается корабельных установок, то по инициативе И.В. Курчатова НТС ПГУ в ноябре 1949 г. рассматривает и поддерживает подготовленные С.М. Фейнбергом (ЛИП АН СССР) соображения о возможностях создания “атомного двигателя для кораблей (применительно к подводной лодке) в трех вариантах (водяное, газовое и металлическое охлаждение), мощность двигателя 10 000 кВт на валу.” Задача разработки конструкции такого двигателя выдвигалась как первоочередная. Для получения крайне необходимых в дальнейших работах данных по ядерно-физическим константам, полям n - и γ -излучений, защите от них, по теплофизике, поведению материалов и элементов конструкций мощных и компактных ядерных реакторов (в частности с водой в качестве замедлителя и теплоносителя) предлагается построить малогабаритный водо-водяной реактор “Малютка” тепловой мощностью 10 МВт с набором петлевых устройств (позднее это проектное предложение было реализовано в исследовательском реакторе МР). В 1950-1951 гг. в ИФП АН СССР под руководством А.П. Александрова выполняется работа по определению возможности (в первую очередь, по массогабаритным характеристикам) размещения ядерной установки на подводной лодке. Предлагалась по современной классификации двухконтурная паропроизводящая установка с реактором, охлаждаемым гелием, тепловой мощностью 40 МВт. В проработках были заявлены весьма высокие параметры теплоносителей первого и второго контуров: при давлении 100 кгс/см² температура гелия на выходе из реактора составляла 600 °С, а температура пара также при давлении 100 кгс/см² – 480 °С. По оценкам авторов, реакторная установка весила 360 т и вписывалась в подводную лодку с диаметром прочного корпуса 6,6 м. В НИИхиммаш – разработчике первых в стране промышленных реакторов “А” и “АИ” – под руководством Н.А. Доллежала группой П.И. Алещенкова в 1949 г. – начале 1950 г. прорабатывается энергоустановка для подводной лодки на базе апробированного в указанных выше проектах типа аппарата – канального с обогащенным ураном, водяным теплоносителем и графитовым замедлителем тепловой мощностью 150 МВт. Необходимые при проработках физические характеристики определялись в ЛИП АН СССР. Давление воды в первом контуре – 100 кгс/см², температура на выходе из реактора – 300 °С, давление пара во втором контуре – до 35 кгс/см². Мощность турбины – 25 МВт. Позднее, уже в 1952 г., на основе этих схемно-конструкторских проработок и выполненных в ЛИП АН СССР физических и тепловых расчетов было сформировано техническое задание на проектирование энергоустановки, работающей на гребной винт, с двумя автономными турбогенераторами. Уточнились основные параметры ППУ: давление воды в первом контуре – 160 кгс/см², температура ее на выходе из реактора – 330 °С, во втором контуре давление пара – 31 кгс/см², температура – 310 °С. Два реактора тепловой

мощностью по 65 МВт размещались в этих проработках горизонтально поперек корабля. Оценки показывали, что масса установки составит 650 т при массе биологической защиты 370 т (ее предварительные расчеты по различным направлениям также были проведены).

Небезынтересно отметить также, что в 1950-1951 гг. в секторе №6 ЛИП АН СССР проработки проектов ЯЭУ для различных кораблей были заданы и группе дипломников МЭИ. В одном из проектов (автор Г.И.Тошинский), принятом в июне 1951 г. Государственной экзаменационной комиссией под председательством А.П.Александрова, была представлена энергоустановка для подводной лодки с корпусным водо-водяным реактором и паровой турбиной, работающей на винт.

Идеи использования такого реактора получили затем свое развитие с подключением к проработкам в ЛИП АН СССР сотрудников не только руководимого В.И.Меркиным сектора №6, но и сотрудников возглавлявшегося С.М.Фейнбергом сектора №14, выполнявших физические и тепловые расчеты. Именно этими коллективами в ноябре 1952 г. по результатам предварительных проработок были выпущены материалы (в форме техзадания) по энергоустановке с водо-водяным реактором, тепловая схема которой была близка к схеме с уран-графитовым аппаратом. Давление воды в первом контуре принималось 180 кгс/см^2 , температура на выходе из реактора — $330 \text{ }^\circ\text{C}$, давление пара перед турбиной — 30 кгс/см^2 , температура — $310 \text{ }^\circ\text{C}$. В реакторе тепловой мощностью также 65 МВт предполагалось разместить 140 тепловыделяющих сборок, устроенных по схеме Фильда. Их замена должна была осуществляться через крышку аппарата. Для компенсации наиболее весомых составляющих запаса реактивности (температурного эффекта и отравления) предлагалось использовать оригинальное устройство — перемещаемую по высоте активной зоны компенсирующую решетку, состоящую из окружающих тепловыделяющие сборки труб. Рассматривались также возможности компенсации выгорания урана добавлением в воду поглотителей (B , ^{10}B , ^6Li и др.) с последующим их выгоранием или заменой на воду без поглотителей. Обсуждался даже такой экзотический способ компенсации реактивности, как использование смеси обычной и тяжелой воды. Компоновка ППУ (ее прорабатывали в НИИхиммаш) предусматривала вертикальное расположение двух реакторов эшелонно по диаметральной плоскости корабля.

Интенсивные проработки ядерной энергоустановки для подводной лодки осуществлялись в эти же годы и руководимой А.И.Лейпунским группой сотрудников Лаборатории “В” вместе с конструкторами ОКБ “Гидропресс” во главе с Б.М. Шолковичем. Ими развивались идеи использования реактора на промежуточных нейтронах со свинцово-висмутовым теплоносителем, обеспечивавшим благодаря своим свойствам возможность резкого уменьшения давления в первом контуре и существенного повышения температуры пара во втором. Другая группа сотрудников Лаборатории “В” во главе с Д.И. Блохинцевым прорабатывала схему канального охлаждаемого водой реактора, но с более эффективным, чем графит, бериллиевым замедлителем и отражателем из окиси бериллия, что позволяло уменьшить размеры реактора. Данная схема была впоследствии использована (под индексом “БМ”) наряду со схемой водо-водяного реактора (индекс “ВМ”) на этапах предэскизного и эскизного проектирования ППУ первой АПЛ.

Хотя указанные выше проработки вплоть до последних месяцев 1952 г. велись только реакторщиками, без участия специалистов бюро-проектантов кораблей, тем не менее во всех работах прослеживается понимание важности минимизации массогабаритных характеристик ядерных энергоустановок (естественно, при обеспечении защиты от



СОВ. СЕКРЕТНО
(Особая папка)
РАССЕКРЕЧЕНО

СОВЕТ МИНИСТРОВ СССР

ПОСТАНОВЛЕНИЕ

от „ 9 “ сентября 1952 г. № 4098-1616

Москва, Кремль

О проектировании и строительстве
об'екта № 627.

Совет Министров Союза ССР ПОСТАНОВЛЯЕТ:

1. Обязать Первое главное управление при Совете Министров СССР (т.т. Ваникова, Завенягина, Курчатова) и Министерство судостроительной промышленности (т.т. Малышева, Носенко, Чиликина):

а) организовать научно-исследовательские и проектные работы по созданию об'екта № 627, исходя из необходимости окончания сооружения этого об'екта в 1955 году;

б) представить на утверждение Совета Министров СССР:

- к 1 февраля 1953г. предэскизный проект и тактико-техническое задание на разработку эскизного проекта об'екта № 627, исходя из скорости в пограничном состоянии 20-25 м/сек. длительности пребывания под водой при использовании полной скорости не менее 30-60 суток и глубины погружения 200-300 метров;

- к 1 октября 1952г. план работ по об'екту № 627 на период октябрь 1952г. - февраль 1953г.;

- в феврале 1953г. план основных исследовательских и проектных работ на 1953 год и мероприятия по обеспечению этих работ, исходя из окончания эскизного проекта об'екта № 627 в 1953 году.

2. Возложить на Первое главное управление при Совете Министров СССР (т.т. Ваникова, Завенягина, Курчатова) общее руководство научно-исследовательскими работами и работами по проектированию об'екта № 627, а также испытание опытных атомных установок для него, разработку ядерно-физических вопросов, изготовление тепловыделяющих элементов и регенерацию обогащенного урана.

3. Возложить строительство об'екта № 627, а также разработку консольной части, механизмов и вооружения об'екта на Министерство судостроительной промышленности (т.т. Малышева, Чиликина).



А.П. Александров



Н.А. Должалов



В.Н. Перегудов

реакторного излучения) для реализации возможности применения на подводных лодках. За критерий принималось следующее условие: масса ЯЭУ не должна превышать сумму масс сопоставимой по мощности энергоустановки дизель-электрической ПЛ и размещаемых на ней запасов дизельного топлива и масла. Этот критерий был одним из определяющих при проводившихся НТС ПГУ рассмотрении хода проработок. Другим важным критерием было ограничение загрузки реакторов ураном-235 величиной, позволявшей при существовавших в то время мощностях по его обогащению организовать серийное строительство АПЛ.

Необходимо отметить и еще одну особенность работ по энергоустановкам. Для их развития явно не хватало теоретических и экспериментальных данных для того, чтобы уверенно обосновать предлагаемые технические решения, в первую очередь по физике и конструкции реакторов. Именно поэтому практически в каждой из упоминавшихся научно-инженерных групп уже с конца 1949 г. начинают прорабатываться идеи сооружения опытной реакторной установки небольшой мощности, работающей совместно с паровой турбиной, и подготавливаются соответствующие проектные задания. ЛИП АН СССР (И.В. Курчатов) и ИФП АН СССР (А.П. Александров) совместно с ОКБ “Гидропресс” (Б.М. Шолкович) - по реактору тепловой мощностью 10 МВт с графитовым замедлителем. Корпус реактора - сферический (“шар”), теплоноситель - гелий (отсюда и индекс проекта “ШГ”) с давлением 60 кг/см² и температурой на выходе из реактора 500 °С. Мощность на валу турбины – 2,5 МВт. Лаборатория “В” (А.И. Лейпунский и Д.И. Блохинцев) совместно с ОКБ “Гидропресс” – по реактору той же мощности с бериллиевым замедлителем и гелиевым теплоносителем (позднее стал рассматриваться и жидкий металл), нагреваемом до температуры 550 °С (индекс “ВТ”). Наконец, после рассмотрения в феврале 1950 г. в ПГУ материалов упоминавшегося выше предварительного проекта установки с каналым уран-графитовым реактором принимается решение о разработке технического проекта опытной установки и этого типа мощностью на валу турбины 5 МВт (индекс проекта “АМ”). Все опытные реакторные установки предполагалось соорудить на территории Лаборатории “В”. По поручению Спецкомитета соответствующий проект постановления вносится И.В. Курчатовым и Б.Л. Ванниковым на рассмотрение в правительство. 16 мая и 29 июля 1950 г. выходят взаимодополняющие Постановления СМ СССР о научно-исследовательских, проектных и экспериментальных работах по использованию атомной энергии и мерах по их выполнению. Научно-техническое и организационное руководство этими работами возлагается на ПГУ, Н.А. Доллежалъ назначается руководителем разработок новых типов энергетических и силовых атомных установок, а Д.И. Блохинцев – его заместителем по физическим вопросам, утверждается план работ по опытным установкам. Из них удалось соорудить и ввести в действие в июне 1954 г. только одну – установку АМ, ставшую основой первой в мире опытно-промышленной АЭС.

Достаточно широкие по охвату возможных вариантов ЯЭУ поисковые работы позволяли ставить вопрос о начале проектирования атомной подводной лодки. В 1951 г. А.П. Александров и Н.А. Доллежалъ с учетом возросшего объема сведений в печати об активизации усилий США, направленных на применение атомной энергетики на подводных лодках и авианосцах, направляют соответствующие предложения высшему командованию ВМФ, но не находят поддержки. Ситуация коренным образом меняется с приходом В.А. Малышева (заместителя председателя СМ СССР и одновременно Министра судостроительной промышленности) к руководству атомными делами страны.

сдана от 10.11.53

УЧ. № 650-369

~~ВН-СНАШИМ~~

Рассмотрено по акту от

03.01.01 по 20784

экв. В 3

8/53

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ, СТРОИТЕЛЬСТВА И МАШИНОСТРОЕНИЯ
СССР

ПРОЕКТ МАШ - ПИМ-8

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ПРОЕКТ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА
ГЛАВНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ
ОБЪЕКТА 627

научный руководитель



(А.П.Александров)

Заместитель научного
руководителя

(Д.И.Блохинцев)

Главный конструктор



(Ч.А.Доллежалъ)

Москва

Январь 1953 г.

Повторное обращение И.В. Курчатова, А.П. Александрова и Н.А. Доллежаля в правительство (1952 г.) В.А. Малышевым было энергично поддержано, и 09.09.1952 г. за подписью И.В.Сталина выходит Постановление СМ СССР № 4098-1616 о проектировании и строительстве объекта № 627 – первой в СССР атомной подводной лодки.

1.2. Проектирование установки

Выход постановления правительства существенно активизировал поисковые научные и конструкторские работы, придал им упорядоченный характер, создал организационную базу как по формированию необходимой кооперации участников проекта и определению сфер их ответственности, так и по последовательности и срокам выполнения его этапов. Назначаются: научный руководитель работ по созданию АПЛ А.П. Александров, его заместитель по физическим расчетам и исследованиям Д.И. Блохинцев, главный конструктор энергоустановки Н.А. Доллежаля, главный конструктор АПЛ В.Н. Перегудов. Руководство проектными и научно-исследовательскими работами в целом по АПЛ возлагается на ПГУ, при НТС которого создается специальная секция № 8. Признается необходимым организация специального Научно-исследовательского института № 8 (НИИ-8) для выполнения проектных, опытных и научно-исследовательских работ по созданию комплексной энергосиловой установки для АПЛ. Директором НИИ-8 назначается Н.А.Доллежаля. Принимается принципиальное решение о необходимости сооружения и проведения испытаний опытного энергетического агрегата (т.е. наземного стенда ЯЭУ) в Лаборатории “В”.

Постановлением задаются и некоторые важные характеристики будущей АПЛ – глубина погружения (200-300 м) и скорость движения под водой (20-25 уз), длительность нахождения в погруженном состоянии (30-60 сут). Необходимо отметить, что по своим значениям они во много раз превосходили соответствующие характеристики подводных лодок с традиционной энергетикой.

Требуется пояснения и еще одна особенность постановления: в нем совсем не были обозначены интересы ВМФ и участие флота в работах. Заказчиком проекта АПЛ и необходимых НИОКР, в отличие от действовавшего в стране порядка создания боевой техники, было определено ПГУ. Связано это было с тем, что по первоначальному замыслу АПЛ должна быть межконтинентальным транспортным средством для большой торпеды с очень мощным термоядерным зарядом, предназначенным для уничтожения крупных береговых военно-морских баз противника с находящимися там кораблями. Кроме того, В.А. Малышев считал, что консерватизм взглядов высшего командования ВМФ, проявившийся при рассмотрении предложений о начале работ по ЯЭУ и АПЛ, сильно затруднит их разработку.

Необычной была и организация проектных работ на первых этапах. Уже говорилось о том, что сама идея создания атомной подводной лодки была выдвинута и настойчиво “пробивалась” специалистами-реакторщиками, достаточно далекими по роду занятий от проблем кораблестроения и методов их решения. С другой стороны, с возможностями реакторной техники и особенностями ее применения создатели подводных лодок фактически начали знакомиться только после выхода постановления правительства, которым разработка АПЛ поручалась СКБ-143, входившему в систему Минсудпрома. Поэтому еще до его переупорядочивания под проектирование АПЛ под руководством В.Н.Перегудова и начальника подводного отдела 5-го ГУ Минсудпрома Ф.Ф.Полушкина была создана проектная группа для выполнения первоначальных проработок по лодке.

Часть этой группы почти постоянно размещалась на территории НИИхиммаш, где тогда еще находился НИИ-8, и работала вместе с конструкторами реакторной установки и представителями научного руководства – сотрудниками ЛИП АН СССР. В короткий срок после выхода постановления правительства на основе анализа результатов ранее выполненных проработок и заданных характеристик корабля В.Н.Перегудовым, Н.А.Доллежалем и Г.А.Гасановым (руководителем СКБК-189) при активнейшем участии И.В.Курчатова и А.П.Александрова совместно определяются необходимые для разработки ЯЭУ основные исходные данные – мощность, продолжительность и режимы работы установки, условия размещения ее на подводной лодке, массогабаритные ограничения и др. Устанавливается, что ЯЭУ будет двухвальная и двухреакторная, с водяным теплоносителем в первом контуре и паровым циклом во втором. Электроснабжение собственно установки и корабля в целом должно обеспечиваться двумя “навешенными” генераторами (приводимыми во вращение от одной из ступеней редуктора главного турбозубчатого агрегата) и резервироваться дизель-генератором и аккумуляторной батареей. Выработка этих принципиальных положений шла непросто, зачастую в острых столкновениях различных взглядов, что было естественным – ведь проектировалась совершенно новая для подводных лодок энергетика, и многие привычные решения должны были пересматриваться. Тем не менее, благодаря общей заинтересованности, необходимые компромиссы находились и тут же поступали на более детальную проработку к конструкторам. Одновременно по мере определения самых предварительных требований к основному оборудованию ЯЭУ к работам привлекались организации-соисполнители. Главными из них на этом этапе были СКБК-189 – разработка парогенераторов (главный конструктор Г.А.Гасанов), ОКБ Ленинградского Кировского завода – циркуляционных электронасосов первого контура (главный конструктор Н.М.Синев), другое КБ того же завода – паротурбинной установки (главный конструктор М.А.Казак).

По установившемуся в те годы порядку разработка проектов (особенно их первых стадий) ядерных установок осуществлялась по техническим заданиям научного руководства. По ЯЭУ первой АПЛ такими заданиями для конструкторов НИИ-8 явились проектные предложения ЛИП АН СССР по двум вариантам установок: на основе канального реактора с графитовым замедлителем (типа реактора “АМ” первой в мире АЭС) и корпусного реактора с водяным замедлителем (индекс “ВМ”) – совершенно нового для отечественного реакторостроения типа. Параметры генерируемого в реакторной установке пара на стыке с ПТУ были одинаковы, что позволяло использовать в ЯЭУ один и тот же турбоагрегат. Однако уже первые совместные с проектантами АПЛ проработки показали бесперспективность применения на лодке уран-графитового реактора из-за его чрезмерно больших массогабаритных характеристик и относительно высокой загрузки урана-235. Вместо него, по предложению специалистов Лаборатории “В”, были начаты разработки варианта установки с уже упоминавшимся реактором под индексом “БМ”.

Предэскизные проекты ЯЭУ (с обоими вариантами реакторов) и самой АПЛ разрабатывались в конце 1952 г. – начале 1953 г. в Москве специалистами НИИ-8, ЛИП АН СССР, СКБК-189 и СКБ-143 и оформлялись в январе 1953 г. в НИИхиммаш. В проекте ЯЭУ рассматриваются вопросы выбора схемы и параметров установки, включая ее паротурбинную часть (ее прорабатывали инженеры ОКБ ЛКЗ и СКБ-143), структуры и материалов защиты от излучений, компоновки оборудования и систем в отсеках АПЛ. Большое внимание уделяется оценке параметров теплоносителя первого контура –

давления, температур на входе и выходе из реактора, расхода воды через активную зону. Выбор их значений был связан главным образом с необходимостью обеспечить как приемлемую тепловую эффективность энергоустановки при требуемой мощности на гребных винтах АПЛ, так и предсказуемость в диапазоне проектных режимов работы установки изменений нейтронно-физических характеристик реакторов и, следовательно, возможность контролировать и управлять ими.

В результате предэскизного проектирования впервые были определены облик ЯЭУ (рис. 1, 2, 3*), и ее основные параметры.

Основные параметры установки (вариант с реакторами “ВМ”)

Тепловая мощность реакторов	2×65 МВт
Расход воды через реактор	400 т/ч
Давление воды первого контура	180-200 кгс/см ²
Температура воды на входе в реактор	230 °С
Температура воды на выходе из реактора	340 °С
Температура пара перед турбиной	310-315 °С
Давление пара перед турбиной	30 кгс/см ²
Мощность паровых турбин	2×19000 л.с.
Мощность на гребных валах	2×17500 л.с.
Масса ЯЭУ (с биологической защитой)	798 т

Если приведенная на рис. 1 технологическая схема дает лишь самое общее представление о структуре установки, то конструктивная схема реактора (см. рис. 2) и компоновка оборудования ЯЭУ в отсеках АПЛ (см. рис. 3) уже в предэскизном проекте проработаны значительно более подробно и содержат ряд оригинальных технических решений, действительно оригинальных, поскольку ЯЭУ для подводной лодки проектировалась в стране впервые, отсутствовали и сколько-нибудь значимые зарубежные технические данные. Примерами таких решений, в частности по реакторной установке, являются:

- формирование активной зоны реактора из индивидуально охлаждаемых тепловыделяющих сборок с размещением их в выемном экране, что позволяло осуществлять как поканальную замену ядерного топлива, так и аварийную, в случае сильного повреждения активной зоны, выгрузку ее неизвлекаемых фрагментов вместе с экраном;

- конструкция наиболее “весомого” органа компенсации избыточной реактивности в виде вертикально перемещаемой решетки из стальных труб;

- защита корпуса реактора из высокопрочной углеродистой стали с помощью тонкостенной футеровки (вариант — наплавки) из аустенитной (нержавеющей) стали;

- разделение парогенераторов установки на однотипные цилиндрические камеры с возможностью выведения каждой из них из работы;

- эшелонное по диаметральной плоскости отсека расположение самого тяжелого оборудования (реакторов с их биологической защитой) в интересах понижения общего центра тяжести реакторной установки;

* Эти и последующие рисунки являются копиями подлинных чертежей периода 1953-1955 гг.

- размещение под реакторами внутри прочного корпуса АПЛ цистерны с водой, позволявшей исключить щели для проникновения прострельных излучений в забортную воду.

Характерно также, что уже на этой предварительной стадии проектирования формулируются задачи по контролю параметров установки и управлению ею. Это особенно касалось ядерных реакторов. Так, в частности, по каждому из них в варианте "ВМ" предлагалось контролировать мощность аппарата, расход воды через него, перепад давлений и температуры воды на входе и выходе из реактора, концентрацию поглощающих добавок в воде. Помимо контроля общей активности и температуры воды на выходе из реактора, предусматривался и их контроль на выходе из каждого технологического канала с тепловыделяющими элементами. Тем самым разработчики намеревались определять в процессе работы установки "дефектные" с разгерметизировавшимися твэлами каналы для того, чтобы их можно было заменять на остановленном реакторе по ходу эксплуатации АПЛ. Давался также перечень отклонений контролируемых параметров, по которым должна была срабатывать аварийная защита реактора.

Необходимо отметить, что будучи реализованной, правда, только на наземном стенде, идея обеспечения возможности замены дефектных каналов на корабле без захода его в базу наложила при последующих стадиях проектирования глубокий отпечаток на конструкцию оборудования реакторной установки и его компоновку в отсеке, привнеся много трудностей при эксплуатации. В конце концов, после ряда неприятностей, от нее, как будет подробнее рассказано ниже, пришлось отказаться без ущерба для эксплуатационных характеристик ЯЭУ.

Предэскизные проработки обоих вариантов установки сразу после их завершения были рассмотрены секцией № 8 НТС ПГУ. Секция одобрила принципиальные основы ЯЭУ и поручила начать разработку эскизных проектов установки не только для АПЛ, но и наземного стенда. В феврале 1953 г. выпускается первая редакция задания по стендовой установке. Согласно этой редакции, предполагалось, что на стенде, как и на корабле, будут размещаться две реакторные и две паротурбинные установки, отсутствовала и их полная автономность по первому контуру, поскольку предусматривалась возможность работы главных циркуляционных насосов установки одного борта на установку другого. В дальнейшем уже в ходе проектирования от этой концепции отказались: на стенде была размещена только установка правого борта АПЛ.

В феврале 1953 г. главными конструкторами ЯЭУ и АПЛ выдается предварительное, а в июне того же года уточненное задание на разработку технического проекта паротурбинной установки АПЛ. В его основу положены развивавшиеся М.А.Казакон идеи использования однокорпусных турбин, поддержанные энергетиками СКБ-143 во главе с П.Д. Дегтяревым. Заданием предусматривалось включение в состав каждой из размещаемых побортно двух групп ПТУ турбины заднего хода и "навешенного" (с меньшими, чем у автономного ТГ, массой и размерами) на ГТЗА генератора постоянного тока. Последний должен был питать все электроприводы механизмов установки (в том числе через токопреобразователи те из них, в которых применялись асинхронные электроприводы), гребные электродвигатели лодки, обеспечивать общекорабельные нужды и зарядку аккумуляторной батареи. При указанной в задании мощности на выходном валу каждого ГТЗА (при переднем ходе АПЛ и 500 об/мин гребного вала), равной 17 700 л.с. (мощность при заднем ходе была в 4 раза меньше),

мощность генератора на его клеммах устанавливалась 1100 кВт. Принципиальными для разработки первой ПТУ для подводной лодки были и требования об обеспечении возможности травления на конденсатор полного расхода пара и взаимной блокировки ходового клапана и клапана травления. Первое объяснялось тем, что на лодке не мог устанавливаться обычный для надводных кораблей предохранительный клапан для сброса “лишнего” пара, второе – должно было исключить нежелательные для ППУ последствия задержки в отборе от нее пара. В качестве расчетной температуры морской воды, охлаждающей конденсатор, принималось ее значение, равное 10 °С.

Разработка проекта ПТУ, как уже отмечалось, осуществлялась в ОКБ ЛКЗ с активным участием инженеров СКБ-143. Электрогенератор и связанные с ним оборудование и системы в рамках общего проекта конструировались заводом “Электросила”. Питательные и конденсатный электронасосы ПТУ создавались заводом “Экономайзер”, а масляный и циркуляционный электронасосы – ЛКЗ. Энергетики СКБ-143 взяли на себя и взаимную увязку технических решений по ПТУ и ППУ, давая возможность разработчикам последней – наиболее сложной и не имевшей прототипов части энергоустановки – основное внимание уделить ее проектированию. Надо отметить, что в дальнейшем при разработке головной и серийных АПЛ первого и последующих поколений эта практика стала традиционной. Конструкторы реакторных установок, работающие в основном в организациях Минсредмаша, стали осуществлять разработки ППУ по техническим заданиям, подготовленным специалистами-энергетиками кораблестроительных бюро.

Уже при выполнении предэскизных проработок выявился ряд крупных научно-инженерных проблем, без решения которых не представлялась возможной практическая реализация идей о создании реакторной установки как основы энергетики подводной лодки.

Первой из этих проблем, определявшей, по существу, идеологию и конструкцию водородного реактора (а именно с АПЛ проекта 627 началось широкое применение этого типа аппарата в транспортной энергетике, а затем и на АЭС), была “физика”, т.е. выбор и обоснование комплекса необходимых нейтронно-физических качеств его активной зоны. К началу 1953 г., в отличие от положения с уран-графитовыми и тяжеловодными аппаратами, в стране не существовали водо-водяные критические сборки, фактически отсутствовали и какие-либо методики их расчета при том, что были очевидными существенные отличия замедляющих свойств водорода от свойств других элементов.

Поэтому с февраля 1953 г. по инициативе А.П.Александрова первый в стране водородный физический стенд начинает сооружаться на газовом заводе в ЛИП АН СССР. Поставка физических макетов твэлов для него (со стальными оболочками диаметром 6 мм и засыпкой урановой крошкой) для формирования макетов ТВС осуществляется заводом № 12. Стенд создается с возможностями достаточно широкого изменения шага регулярного размещения тепловыделяющих сборок, разборки отражателя, небольшого нагрева воды. Проведенные на стенде, получившем название ФВР, эксперименты (июнь-ноябрь 1953 г.), данные их обработки и теоретического осмысления позволили в первом приближении получить зависимости критических масс от шагов размещения твэлов и ТВС, определить величины оптимальных шагов, установить сильное влияние “нарушений” регулярности из-за размещения органов управления реактивностью, выявить заметный температурный эффект даже при малом (до 80 °С) нагреве воды, допускаясь конструкцией и системами стенда. Для определения этой важнейшей для реактора характеристики при принятых в проекте рабочих температурах теплоносителя

было реализовано оригинальное предложение об использовании в ряде экспериментов на ФВР в качестве замедлителя нейтронов сахарного песка, содержащего близкое к расчетному (при рабочих температурах) количество атомов водорода. Необходимо отметить, что получаемые на физическом стенде экспериментальные данные иногда сильно отличались от существовавших общетеоретических представлений о тех или иных характеристиках активной зоны. Физикам ЛИП АН СССР, работавшим под руководством С.М. Фейнберга и Г.А. Бать и создававшим первую в стране методику их расчета, приходилось проявлять много изобретательности для поиска путей корреляции этих данных, постановки задач на дополнительные эксперименты, осмысления их результатов. К этому надо добавить, что математический аппарат в то время ограничивался весьма скромными возможностями логарифмических линеек, простейших электромеханических арифмометров и таблиц специальных функций. И тем не менее в короткий срок удалось создать аппроксимационную полуэмпирическую методику для водо-водяных реакторов. С ее помощью без крупных ошибок не только рассчитывались различные варианты загрузки и обогащения ядерного топлива, но и изучались изменения реактивности в процессе работы аппарата, способы и условия ее компенсации и регулирования при маневрировании мощностью, проблемы “отравления” реактора и вывода его из “йодной ямы”, распределения энерговыделений, влияние на них вертикальных перемещений главного компенсирующего органа – массивной стальной решетки и т.п. Этим ключевым вопросам в 1953-1954 гг. было посвящено большое число расчетных исследований. Подкрепленные данными экспериментов, они позволили определить загрузку ураном и оценить другие характеристики первой активной зоны реактора наземного стенда ЯЭУ. В 1955 г. комплект этой зоны был собран в одном из цехов завода № 92 в штатной экранной сборке реактора и помещен в штатный же его корпус (обе составные части аппарата незадолго до этого были изготовлены заводом). На этом своеобразном критическом стенде, обладавшем также возможностями для нагрева воды до температуры 170 °С, под руководством и с непосредственным участием А.П.Александрова бригадой специалистов ЛИП АН СССР совместно с сотрудниками НИИ-8 и ОКБ завода был проведен большой круг разносторонних экспериментов, по результатам которых:

- подтверждена правильность выбранного по расчетам шага размещения ТВС в активной зоне;

- уменьшен оказавшийся избыточным “вес” (в категориях нейтронной физики) компенсирующей решетки путем утонения образующих ее труб;

- увеличена эффективность поглощающих стержней автоматического регулирования за счет изменения их конструкции и перемещения стержней от периферии к центру активной зоны;

- подтверждено ожидавшееся не косинусоидальное распределение потока тепловых нейтронов по высоте зоны. Установлено также, что обнаруженные мелкие всплески потока связаны с наличием стальных заглушек на короткостержневых (~200 мм) твэлах, использовавшихся в данной активной зоне;

- уточнены в большом диапазоне изменений средней температуры воды в зоне значения температурного эффекта, а также значения и знак температурного коэффициента реактивности.

Полученные данные имели не только прикладное значение: они стали серьезным вкладом в понимание существа нейтронно-физических процессов, происходящих в водо-водяных реакторах. Не менее важным результатом стала и убежденность в практической

осуществимости таких аппаратов, в возможности реализации условий для обеспечения их безопасной работы.

На основе полученных опытных данных совершенствовалась и аппроксимационная методика расчета водо-водяных реакторов, просуществовавшая до начала 1970-х годов, когда ее сменил базирующийся на большом экспериментальном материале по исследованию созданных за два десятилетия многочисленных критсборок вполне адекватный и высокоточный метод физического расчета транспортных водо-водяных аппаратов.

Знание физических характеристик реактора во многом определило пути решения другой сложной проблемы – организации эффективной радиационной защиты установки. Уже первые проработки в НИИ-8 показали, что ее доля в общей массе ППУ может достигать 60-70%, и от рационального построения защиты, выбора ее элементов и компоновки зависит сама возможность использования ядерного реактора в качестве источника энергии на подводной лодке. Значимость проблемы потребовала более глубокого осмысления выполняемых защитой задач по обеспечению безопасности экипажа на корабле и условий базирования АПЛ, по исключению возможности обнаружения лодки по радиационному следу и т.п. Результаты анализа комплекса этих задач и поиска направлений их решения определили выбор основных принципов формирования радиационной защиты в ходе начальных этапов проектирования ЯЭУ, выполненных совместными усилиями сотрудников ЛИП АН, НИИ-8 и СКБ-143: обеспечение полной защиты от излучений только в осевых направлениях (в нос и корму), защита более активного оборудования менее активным, использование различных защитных материалов (сталь, вода, карбид бора, свинец). Важнейшую роль в обосновании этих принципов сыграли специалисты Лаборатории “В” под руководством С.Г. Цыпина, предложившие первые методы расчетных оценок защиты, а также организовавшие ряд стендовых исследований с различными источниками излучений. Однако выполнение достоверных расчетов наталкивалось на отсутствие данных по механизму прохождения излучений через большие толщины защитных материалов, по многим физическим константам, вторичным излучениям, вкладу рассеянного излучения (а в условиях неполной (“теневой”) защиты этот вклад в дозу за защитой мог оказаться определяющим) и т.д. Имевшиеся в то время источники излучения – природные и на основе ускорителей заряженных частиц – не “пробивали” проектируемые толщины защиты даже на пределе чувствительности анализирующей аппаратуры. В этой ситуации по решению И.В.Курчатова и А.П.Александрова (март 1953 г.) в ЛИП АН СССР сооружается реактор ВВР-2 небольшой мощности для проведения исследований по защите. Уже в 1954 г. (в ходе выполнения технического проекта ППУ) на этом реакторе сотрудниками ЛИП АН СССР, Лаборатории “В” и НИИ-8 были получены основополагающие экспериментальные данные (для однородных слоев защитных материалов и сложных композиций) на макетах, в которых имитировалась по разным направлениям реальная компоновка оборудования и материалов защиты в реакторном отсеке АПЛ. Расчеты рассеянного излучения уточнялись по экспериментам в Лаборатории “В” на водяном баке, куда вводился пучок быстрых нейтронов, полученных с помощью ускорителя.

Так же как и в познании физики водо-водяных реакторов, значение проведенных исследований, создания и совершенствования на их основе методик расчетов защиты от излучений не ограничивается только конкретными результатами для использования

в процессе ее проектирования, изготовления и монтажа на первой АПЛ. А этими результатами стали разработка конструкции комбинированной защиты активного оборудования и реакторного отсека в целом, организация перекрытий “прострельных” излучений, связанных с неизбежными нерегулярностями защиты в отсеке, применение вместо карбида бора его смеси с чугуном дробью, внедрение прессованной смеси карбида бора с графитом – карборита и др. В совокупности с упомянутыми выше принципами полученные данные заложили основу теории и практики проектирования радиационной защиты корабельных реакторных установок. Так, в частности, подтвержденная эффективность чередующихся слоев стали и воды, дающих заметный выигрыш в массе защиты, послужила базой для широкого использования железобетонных конструкций в качестве первичной защиты от излучения вокруг реактора на подводных и надводных кораблях последующих поколений. Успехи в комбинировании свойств различных материалов стимулировали интенсивный поиск новых компонентов и технологий формирования биологической защиты.

С проблемой разработки и обоснования рациональной и эффективной биологической защиты тесно связаны вопросы обеспечения допустимого облучения материалов оборудования установки и, в первую очередь, работающего под высоким давлением корпуса реактора. Для него одними из наиболее опасных факторов являются термические напряжения, обусловленные неравномерностью по толщине его элементов внутренних тепловыделений и соответственно температурных полей, определяемых воздействием нейтронов и γ -квантов, а также радиационное охрупчивание материала в процессе работы реактора. Если механизмы возникновения охрупчивания и меры предотвращения связанных с ним опасных последствий были выявлены значительно позднее, при существенно увеличившихся для последующих поколений реакторных установок сроках их службы, то самые первые расчетные оценки термических напряжений в корпусе реактора были сделаны сотрудниками ЛИП АН СССР уже в начале 1953 г. Тогда же была определена и необходимая толщина защитных экранов из аустенитной стали, которые при разработке реактора в НИИ-8 стали органической частью конструкции внутриреакторных устройств.

Реализация предложенных физиками и конструкторами решений по оптимальному формированию биологической защиты, тем не менее, не исключала необходимости организации постоянного контроля за радиационной обстановкой на АПЛ. Главная трудность этой задачи заключалась в том, что в стране к началу проектирования ядерной установки и самой лодки для измерения интенсивности радиоактивных излучений не было соответствующих систем и приборов, удовлетворявших специфике их применения на корабле. В первой половине 1954 г. усилиями специалистов ЛИП АН СССР и Лаборатории “В” готовится пакет технических заданий на разработку систем дозиметрии для АПЛ и наземного стенда ЯЭУ, стационарно размещаемых и переносных приборов для замеров нейтронного и γ -излучений, α - и β -активности (рук и одежды), газовой активности. Сами дозиметры изготавливаются в основном в ЛИП АН СССР, и ими были оснащены полностью наземный стенд и в большой степени АПЛ. Одновременно впервые для транспортных установок разрабатываются и системы технологической дозиметрии, предназначенные для обнаружения по γ -активности воды нарушений герметичности оболочек твэлов и плотности теплопередающих труб парогенератора. О судьбе первой из этих систем будет сказано ниже, вторая система с датчиками, измеряющими активность пара (за парогенераторами) и питательной воды (за

конденсатором турбины), оказалась вполне работоспособной и с небольшими изменениями первоначальных идей и технических решений успешно эксплуатируется на АПЛ и надводных атомоходах.

Несмотря на имевшиеся к 1950-м годам достижения отечественной теплотехники и гидравлики, проектирование реакторной установки уже на начальных этапах столкнулось с отсутствием многих теоретических и экспериментальных данных для обоснования теплотехнической надежности установки во всем диапазоне принятых тепловых и гидравлических параметров работы ее основного оборудования — реактора, парогенераторов, компенсаторов давления и др. Это было связано, в первую очередь, со спецификой намеченных к реализации схемы, конструкции и теплового цикла двухконтурной установки. Наиболее важными их особенностями в аспекте рассматриваемой здесь проблемы были:

- высокое (до 200 кг/см^2) давление теплоносителя в первом контуре, требующееся для предотвращения кипения в активной зоне, что сопровождалось бы нестабильностями протекания физических процессов;

- большие тепловые нагрузки охлаждаемых водой поверхностей твэлов при весьма малых зазорах между ними;

- значительные неравномерности тепловыделений по радиусу и высоте активной зоны из-за ограниченных ее размеров и, следовательно, существенной утечки нейтронов;

- возможность потери гидравлической устойчивости течения теплоносителей первого и второго контуров при прохождении большого числа параллельных каналов соответственно в реакторе и камерах парогенератора;

- необходимость обеспечения надежной компенсации изменений объема воды в замкнутом и герметичном первом контуре при широком диапазоне изменения ее температуры, в том числе в процессах разогрева и расхолаживания реактора.

С другой стороны, характеризуя положение с возможностями оценки теплотехнической надежности реактора, можно указать, например, на то, что данные по опасному по своим последствиям кризису теплообмена при охлаждении водой с давлениями до 200 кг/см^2 имелись только при кипении воды в большом объеме. Условия возникновения кризисов в гидравлических трактах, характерных для проектируемой активной зоны, были изучены при давлениях воды, не превышающих 20 кг/см^2 .

Все это потребовало от научного руководства и главного конструктора проекта оперативной постановки и развертывания необходимых исследований и по этой проблеме. В 1953-1954 гг. к работам привлекаются вначале специалисты ВТИ им. Ф.Э. Дзержинского (этот институт располагал котлом с давлением пара до 250 кг/см^2), а затем — Лаборатории “В”, где сооружаются уникальные для своего времени стенды. Теплообмен и гидродинамика в парогенераторе исследуются в СКБК-189 на экспериментальных рабочих участках и опытном образце камеры парогенератора.

Отметим, что начатые в середине 1950-х годов экспериментальные и расчетные исследования по теплотехнике и гидравлике активных зон корабельных водо-водяных ядерных реакторов интенсивно развивались и в последующем, став базой, особенно после внедрения ЭВМ в практику расчетов, нормативных методов обоснования проектов не только транспортных, но и стационарных энергетических корпусных аппаратов.

Комплекс взаимосвязанных физических, теплотехнических, а также материаловедческих проблем решался в работах по созданию тепловыделяющих элементов — важ-

нейших компонентов реактора. Значимость выполнения разработок и исследований по твэлам наряду с работами по ЯЭУ и АПЛ, специально подчеркнута уже в основополагающем постановлении правительства от 09.09.1952 г. № 4098-1616. В феврале 1953 г. В.В. Гончаровым (ЛИП АН СССР) вносится предложение о переоборудовании петли “ПВ” исследовательского реактора “МР” для испытаний твэлов будущего реактора АПЛ. Предложение, поддержанное И.В. Курчатовым и Д.И. Блохинцевым, в короткий срок было реализовано — к середине 1954 г. в петле с принятыми для будущей установки температурой нагрева и давлением теплоносителя первого контура были получены первые результаты. Исследовались стержневые твэлы со стальной оболочкой (вначале с диаметром 6, а затем 5 мм) и разными вариантами топливных композиций (уран-магниева керамика, спеченная двуокись урана и др.), предложенными ВИАМ, НИИ-9 и ЛИП АН СССР. Одновременно по данным теплотехнических расчетов и теплогидравлических экспериментов велся интенсивный поиск оптимальной геометрии твэлов и их размещения в ТВС. Проведенные работы позволили в августе 1954 г. выдать заводу № 12 технические условия на изготовление двух комплектов твэлов с топливной композицией в виде двуокиси урана с обогащением 6 %, предложенной НИИ-9. Один из комплектов (активная зона “ВМ”) позднее стал первой загрузкой реактора наземного стенда, а другой — одного из реакторов АПЛ. Второй реактор лодки был загружен твэлами также разработки НИИ-9 (активная зона “ВМ-А”), но измененной конструкции с несколько увеличенной по сравнению с зоной “ВМ” поверхностью теплосъема и уменьшенной неравномерностью тепловыделения. При сохранении диаметра оболочки твэла 6 мм и той же топливной композиции, что и в зоне “ВМ”, в зоне “ВМ-А” она использовалась в виде прессованных и спеченных таблеток с обогащением 5,5 %, а вместо короткостержневых свинчиваемых по высоте зоны твэлов удалось изготовить твэлы полной длины.

Как видно из дальнейшего изложения, показатели работоспособности первых отечественных корабельных твэлов в жестких режимах эксплуатации оказались явно недостаточными. Заметим, кстати, что по появившимся позднее публикациям аналогичные трудности были характерны для первого периода становления и зарубежного транспортного реакторостроения. Тем не менее совокупность именно этих начальных работ в нашей стране заложила основы решения проблемы создания надежных тепловыделяющих элементов для корабельных реакторов.

Эскизный проект ППУ выпускается также применительно к двум вариантам реакторов (“ВМ” и “ВМ”) в сентябре 1953 г. Он разрабатывается в НИИ-8 под непосредственным руководством П.А.Деленса (начальника отдела, а позднее заместителя директора НИИ-8) сотрудниками института совместно со специалистами ЛИП АН СССР.

В НИИ-8 формируются технологические схемы установки и ее контуров, выполняются конструкторские разработки, тепловые, гидравлические и прочностные расчеты реакторов, оборудования систем расхолаживания, компенсации давления теплоносителя первого контура, его очистки, трубопроводов, проектируется биологическая защита оборудования и отсека и т.д.

В схеме первого контура предусматривается возможность работы главного циркуляционного насоса установки одного борта на установку другого. В состав ППУ вводятся третий и четвертый контуры. Назначение третьего контура — отводить тепло от исполнительных механизмов СУЗ реактора, ионизационных камер, а также охлаждать воду в баках вокруг реакторов и расположенные за баками металлические плиты.

Примечательно, что тепло от третьего контура должно было передаваться питательной воде второго контура. Четвертый контур (заборной воды) предназначался для отвода тепла в теплообменниках расхолаживания, воздухоохладителях в реакторных выгородках, токопреобразователях электронасосов первого контура и некоторых других устройствах.

Для конструкции реактора, как и на предыдущей стадии проектирования, характерно использование фильдовской схемы движения воды через тепловыделяющую сборку с трубчатыми (в варианте “БМ”) и стержневыми (в варианте “ВМ”) твэлами, размещение большого числа труб системы контроля герметичности оболочек твэлов, организация крепления и уплотнения технологических каналов в крышке аппарата. Корпус реактора – из углеродистой стали и защищен от коррозии изнутри рубашкой из аустенитной стали. Рассматриваются два варианта его днища: плоское и эллиптическое. Опорные конструкции для реакторов (они разрабатывались вместе с сотрудниками СКБ-143) образуют заполняемые водой прочные и жесткие подреакторные цистерны. На них размещаются водяные баки («постаменты» реакторов), составляющие вместе с навешенными на наружные стенки баков металлическими плитами большой толщины первичную радиационную защиту вокруг реакторов. К постаментам крепятся также герметичные выгородки надреакторных помещений.

В эскизном проекте ППУ впервые представлены и разработки комплекса механизмов и устройств для замены технологических каналов при обнаружении в них нарушений целостности оболочек твэлов. Предполагалось, что такая замена могла быть произведена даже во время похода АПЛ, естественно, после остановки реактора и снятия давления в первом контуре. Комплекс на каждом из реакторов включал размещенную над его крышкой плиту с поворотным кругом (в нем имелся наводимый на координаты каждого канала и закрытый съемными пробками проем, через который и производилась замена), подвижную таль для выема и установки пробок, перемещаемую внутри герметичной выгородки перегрузочную машину с защитным контейнером, хранилище “свежих” и извлекаемых из реактора каналов. Позднее, уже на этапе технического проектирования в комплекс были включены два закрепляемых на комингсах дверей выгородки специальных скафандра для работы операторов внутри выгородки при замене каналов. Небезынтересно отметить, что, разрабатывая проект комплекса, инженеры НИИ-8 с целью сокращения размеров перегрузочной машины впервые предложили использовать в качестве материала защиты ее контейнера отвалный металлический уран. Сам же проект явился, по существу, своего рода прообразом конструкций будущих устройств такого рода на АЭС.

Система компенсации давления теплоносителя первого контура – газовая. Чтобы предотвратить насыщение воды воздухом в процессе работы установки в проекте баллонов компенсаторов давления, предусматривается размещение внутри них разделительных перегородок в виде длинномерных, сваренных из тонкостенных нержавеющей дисков сильфонов.

В проекте представлено два варианта конструкции главных циркуляционных электронасосов первого контура – разработки ОКБ ЛКЗ и ЦКБ ГМ. Как и требовалось по техническому заданию главного конструктора установки, оба варианта насосов, предназначенных для работы в герметичном контуре, не имели сальниковых уплотнений. В первом варианте ротор асинхронного электродвигателя с закрепленным на нем рабочим колесом должен был вращаться в среде перекачиваемой воды, а обмотки статора защищались от ее проникновения герметичной тонкостенной рубашкой из аустенитной стали. Во втором варианте (позднее он был отвергнут) предполагалось заполнение

внутренней полости электродвигателя сжатым воздухом. Технические задания на разработку электронасосов третьего и четвертого контуров выдаются ВНИИ гидромашиностроения.

Большое внимание в проекте установки уделено “паропроизводителям” – так тогда назывались парогенераторы. Развивая предложенные в предэскизных проработках идеи, СКБК-189 после многовариантных поисков представило расчетно обоснованную конструкцию прямоточных парогенераторов из восьми цилиндрических камер (на один реактор), объединенных, в отличие от предэскизного проекта, в две секции (позднее число секций каждого ПГ было увеличено до четырех). Камеры удалось разместить побортно в достаточно малом по объему и неудобном по форме пространстве между окружающей реакторы защитой и прочным корпусом АПЛ. Для отключения секций парогенератора по первому контуру предусматриваются оригинальные, специально разработанные в ЦКБА задвижки – бессальниковые затворы с электропневмогидравлической системой дистанционного управления.

Составной частью эскизного проекта является подготовленное НИИ-8 техническое задание для ПКБ-12 на разработку системы автоматики, контроля эксплуатационных параметров и регулирования теплообмена. Эти работы дополняются проектированием средств управления, сигнализации, блокировки и защиты установки, центрального и местных пультов ЯЭУ, а также автоматики теплообмена, осуществляемым, кроме ПКБ-12, в ЦНИИ-45, ГС ОКБ-218, на заводе “Красная Заря”, а также проектированием в ОКБ-12 системы управления и защиты реактора.

Все системы и оборудование ППУ, а также необходимая биологическая защита размещаются в 5-м отсеке АПЛ с внутренним диаметром прочного корпуса 6700 мм и длиной 11 400 мм (в последующем эти размеры были увеличены). Как отмечается в подписанной А.П. Александровым, Д.И. Блохинцевым и Н.А. Доллежалем пояснительной записке к эскизному проекту ППУ, основными принципами ее компоновки были автономность реакторных установок каждого борта; возможность сообщения 5-го отсека с соседними; прочность ППУ, в том числе при воздействии 15-кратных по весу вертикальных и 5-кратных горизонтальных перегрузок; выполнение норм защиты личного состава и помещений АПЛ от радиоактивности; минимизация веса и габаритов установки; максимально низкое расположение центра ее тяжести.

Основные характеристики ППУ по материалам эскизного проекта

Тепловая мощность реакторов	2×70 МВт
Расход воды через реактор	380 т/ч
Давление воды первого контура	200-225 кгс/см ²
Температура воды на входе в реактор	218 °С
Температура воды на выходе из реактора	340 °С
Паропроизводительность	2×90 т/ч
Давление пара	35 кгс/см ²
Температура пара	315 °С
Масса ППУ (с биологической защитой)	616 т

Учитывая большую затесненность отсека ППУ оборудованием и трубопроводами, в целях проверки и при необходимости корректировки компоновочных решений,

призванных обеспечить наряду с другими задачами также и приемлемые условия монтажа и последующего обслуживания установки, по инициативе Н.А. Доллежалы в одном из помещений экспериментального завода НИИхиммаш по материалам эскизного проекта в конце 1953 г. начинает сооружаться деревянный макет отсека. Его создание и участие военных моряков (после того, как они были привлечены к работам по АПЛ) в оценке смакетированной компоновки, ряд их рекомендаций существенно помогли конструкторам НИИ-8 при дальнейшем проектировании ППУ. Отметим также, что конструкторы ОКБ ЛКЗ, СКБ-143, СКБК-189 и др. макетировали и компоновки других отсеков АПЛ, например, турбинного отсека с пультом ЯЭУ, электротехнического отсека, фрагмента реакторного отсека с камерами парогенераторов и трубопроводами. Результаты этих работ и приемка их комиссиями приводили в ряде случаев к пересмотру принятых в проектах решений. Так, в 1954 г. был полностью перекомпонован пульт ГЭУ (так в корабельных спецификациях называлась ядерная энергоустановка).

Технические проекты корабельной и стендовой ППУ (они были выпущены соответственно в мае и июне 1954 г.) разрабатывались уже применительно к одному варианту реактора — “ВМ”. Такое решение после рассмотрения эскизного проекта вынесла в октябре 1953 г. секция № 8 НТС Минсредмаша. В техпроектах были сохранены основные, принятые на предыдущей стадии разработки, параметры установки, принципиальные технические решения по схеме, составу и компоновке оборудования, по его конструкции (рис. 4, 5, 6, 7). Одним из немногих отличий по результатам проведенных расчетных исследований стало полное разделение (автономность) первых контуров ППУ правого и левого бортов. При этом с целью резервирования их главных циркуляционных насосов в состав установки были введены вспомогательные насосы первого контура с принятыми на этом этапе производительностью $80 \text{ м}^3/\text{ч}$ и напором $1,5 \text{ кгс/см}^2$. Каждый из них должен был в случае выхода из строя главного насоса одной из ППУ продолжить циркуляцию воды в ее первом контуре при расхолаживании установки, а кроме того обеспечить ее пуск и работу в “турбогенераторном режиме” с существенно меньшим, чем у главных насосов, потреблением электроэнергии. Под термином “турбогенераторный режим” понималась эксплуатация установки на малой мощности, достаточной лишь для работы навешенного на ГТЗА электрогенератора и обеспечивавшей питание всех электропотребителей АПЛ, а также зарядку аккумуляторной батареи. Тем самым значительно расширялся диапазон реализуемых энергоустановкой режимов работы, что улучшало тактико-технические качества АПЛ, а также повышало безопасность установки.

Другим важным отличием стало введение в схему и состав первого контура по предложению ЛИП АН СССР, обоснованному соответствующими проработками ФХИ им. Л.Я.Карпова, комбинированного (механического и ионообменного) фильтра с необходимыми трубопроводами для очистки теплоносителя от примесей, в том числе радиоактивных. Предусматривалось, что через фильтр будет постоянно прокачиваться (за счет напора, создаваемого главным насосом) определенная часть циркулирующей в контуре воды, предварительно охлажденной теплоносителем третьего контура.

Конструкция реактора в техническом проекте проработана с двумя вариантами корпуса. В первом варианте — днище эллиптическое приварное, для антикоррозионной защиты внутреннюю поверхность корпуса предполагается наплавить 5-миллиметровым слоем нержавеющей стали. Во втором — днище плоское вставное, а корпус футеруется тонкостенной нержавеющей рубашкой. Технологические каналы, внутриреакторные

устройства и крышка в обоих вариантах одинаковы. Как уже указывалось, каналы крепятся (с помощью разжимных цапг) и уплотняются (клиновидными прокладками) в крышке реактора. В верхней части каждого канала предусматривается замер температуры воды, выходящей из тепловыделяющей сборки, и размещается клапан (с сильфонным уплотнением его штока) для подрегулировки расхода воды через ТВС. Канал оснащается также импульсной трубкой для замера активности воды. Сама тепловыделяющая сборка состоит из двух групп твэлов — центральных (9 шт.) и периферийных (14 шт.) с разделительной трубой между группами. Снаружи ТВС окружена кожухом. Схема движения воды в активной зоне: из межканального пространства через отверстия в кожухах вода попадает во все ТВС, опускаясь вниз по каждой из них, она омывает периферийные, а затем, поднимаясь вверх, центральные твэлы и выходит из тепловыделяющих сборок.

Технические проекты ППУ обосновывались расчетами ЛИП АН СССР и НИИ-8 по требуемой загрузке ^{235}U в реактор, по комплексу его физических характеристик, в том числе при рабочих температурах, по эффективности органов воздействия на реактивность (к этому времени уже был получен ряд результатов исследований на критической сборке ФВР), расчетами физиков Лаборатории “В” и НИИ-8 по биологической защите. В НИИ-8 с участием сотрудников ЛИП АН СССР были проанализированы возможности и условия осуществления предполагаемых режимов работы установки, выполнены тепловые и гидравлические расчеты ее контуров, а также реактора, технологических каналов, компенсатора давления, теплообменников расхолаживания, каналов ионизационных камер и др.

Следует остановиться на вопросах обоснования прочности ППУ. Уже предварительный анализ, проведенный с использованием существовавших в то время методов расчета, показал, что особенности конструкций ряда оборудования (или его частей), таких, например, как сильно перфорированная крышка реактора, узел ее уплотнения, верхняя часть корпуса с патрубками большого диаметра, сложный по конфигурации бак железобетонной защиты, а также специфика действующих на них при работе установки нагрузок не позволяют в необходимом объеме оценить их напряженное состояние. Это, естественно, породило сомнения в обеспечении прочности ППУ. По инициативе Н.А. Доллежалы и стараниями ставшей главным “прочнистом” НИИ-8 О.А. Шатской к работам по этой проблеме привлекаются видные ученые и специалисты Институты механики, машиноведения, металлургии АН СССР, НИИ “Проектстальконструкция”. С их помощью для изучения напряженного состояния оборудования реакторной установки начинают активно развиваться не только более глубокие теоретические исследования, но и новые для атомного машиностроения экспериментальные методы — поляризационно-оптический, тензометрирование моделей и др. Получаемые в ходе расчетных и экспериментальных исследований результаты использовались конструкторами для оперативной корректировки чертежей, что дало возможность к началу изготовления оборудования обосновать его прочность, а также уточнить ряд требований к проведению его испытаний и приемки после изготовления.

Достаточно сложным оказался и поиск решений по обеспечению прочности трубопроводов установки, особенно ее первого контура. Требование полной герметичности расположенных в основном в необслуживаемых помещениях протяженных труб достаточно больших диаметров, работающих под высоким давлением циркулирующего по ним теплоносителя, практически исключало возможность

использования каких-то устройств для восприятия температурных удлинений труб. Такие устройства не только трудно было разместить в уже загроможденном отсеке, но они могли бы стать и потенциальными местами течи теплоносителя. Нужно было обеспечить самокомпенсацию труб. Для этого с помощью специалистов ЦНИИ-45 были адаптированы имевшиеся инженерные методы расчета, в процессе технического и рабочего проектирования проведены оценки различных вариантов трассировок труб, разработаны и размещены их концевые и промежуточные опоры, выбрана оптимальная компоновка трубопроводов.

В целом все сделанное в обоснование прочности ППУ, как и работы по другим научно-инженерным проблемам, стали началом широкомасштабных исследований в этой области реакторостроения.

Проект системы управления и защиты реактора выпускается ОКБ-12 по техническому заданию ЛИП АН СССР и включает как схемы построения и приборное оформление каналов контроля и регулирования мощности аппарата, аварийной защиты, так и конструкторские разработки исполнительных механизмов СУЗ с рабочими органами воздействия на реактивность. Для движения наиболее “тяжелого” органа – компенсирующей решетки – в проекте предлагается использовать при перемещении вниз ее собственный вес и гидравлические толкатели, вверх – сервопривод. Стержни автоматического регулирования располагались в “сухих” гильзах на периферии активной зоны и перемещались в них с помощью электромеханических приводов. Стержни аварийной защиты размещались в трубках специально организованной в реакторе гидравлической системы, их удержание в верхнем положении обеспечивалось электромагнитами, а ввод в активную зону или вывод из нее осуществлялся переключением с помощью клапанов направления потока воды первого контура в трубках.

Значительное место в проекте установки отводится разработкам системы контроля целостности оболочек тепловыделяющих элементов реактора, показания которой должны были использоваться для определения необходимости замены технологических каналов с потерявшими герметичность твэлами. Система формировалась из большого (по числу каналов) количества счетчиков-дозиметров и подводящих к ним воду импульсных труб. Сигналы от счетчиков-дозиметров выводились на пульт.

Разработка технических проектов ППУ для АПЛ и наземного стенда осуществлялась в тесном взаимодействии с энергетиками СКБ-143, взявшими на себя не только заботу о выполнении конструкторами Кировского завода проекта отсека ПТУ, удовлетворяющего взглядам разработчиков корабля, но и формирование проекта ЯЭУ в целом. Конструкторы ППУ регулярно консультировались со специалистами СКБ-143, использовали их рекомендации по различным вопросам, совместно с ними в рабочем порядке находили оптимальные технические решения.

В июле 1954 г. к работам по созданию АПЛ и ее энергоустановки впервые привлекаются военные моряки. Проведенное экспертами ВМФ рассмотрение технического проекта лодки привело к пересмотру боевого назначения корабля и состава его вооружения, но практически не отразилось на проектах ЯЭУ и ее составных частей, размещенных в 5-м и 6-м отсеках. На проект ППУ существенно повлияли другие факторы. Во-первых, продолжавшийся и подпитываемый результатами развернутых расчетно-экспериментальных исследований процесс все более глубокого осмысления разработчиками новой техники тех явлений и их взаимосвязей, которые будут иметь место при работе установки – процесс, требовавший совершенствования ранее принятых

технических решений. Во-вторых, начавшаяся уже в ходе выполнения технического проекта адаптация его к техническим возможностям предприятий промышленности, которые должны были выполнять рабочие проекты и изготавливать оборудование установки.

Обусловленные этими факторами уточнения и изменения вносились в проекты стендовой и корабельной ППУ оперативно, по решениям научного руководителя и главного конструктора.

На конец 1955 г. к числу наиболее значимых корректировок можно отнести:

- уточнение параметров теплоносителя первого контура: давление — 200 кгс/см², температура на входе в активную зону реактора — 222 °С, на выходе — 336 °С; при этих параметрах и тепловой мощности реактора 70 МВт ППУ каждого борта должна обеспечивать выработку 90 т/ч пара с температурой 310 °С и давлением 35 кгс/см² перед маневровым устройством ГТЗА;

- уточнение производительности и напоров главного и вспомогательного насосов первого контура (их значения составляют соответственно 500 и 115 м³/ч; 10 и 2,2 кгс/см²);

- изменения в схемах второго, третьего и четвертого контуров, связанные с отказом от охлаждения теплоносителя третьего контура питательной водой и заменой ее на забортную (морскую) воду;

- разработку новой, более эффективной конструкции железобетонной защиты с чередованием в ней слоев воды и стали взамен водяного бака с навешенными на него металлическими плитами;

- исключение из состава установки сложной, весьма разветвленной системы технологической дозиметрии для контроля целостности оболочек твэлов;

- отказ от гидравлических устройств в приводах компенсирующей решетки реактора, переход на электромеханические приводы.

Кроме того, определился подлежащий изготовлению вариант конструкции корпуса реактора — со вставным днищем и тонкостенной футеровкой из аустенитной стали.

Подверглось переработке и устройство активной зоны. Из описания ее основных компонентов видно, что новая для нашей атомной техники концепция корпусного реактора как бы подстраховывалась рядом технических решений, характерных для уже работавших и создаваемых канальных аппаратов. И хотя такой подход и предусматривался техническим заданием, при более детальной разработке он приводил к значительному усложнению конструкции крышки реактора и технологических каналов, чреватуму разуплотнениями аппарата во время его работы (эти опасения подтвердились при испытаниях наземного стенда). Настораживали также полученные в техническом проекте результаты теплогидравлических расчетов в предельных режимах работы реактора наиболее напряженных центральных ТВС. При скудости экспериментальных данных по условиям нормального протекания процесса теплообмена в пучках твэлов (соответствующие исследования только разворачивались) расчетные запасы по кризису теплообмена могли оказаться явно недостаточными. Стала очевидной необходимость как снижения тепловых нагрузок на твэлы, так и увеличения скорости охлаждающей их воды. Общее состояние работ по проекту установки уже не позволяло пересматривать размеры активной зоны, значения напора и производительности циркуляционных насосов первого контура. С учетом этих обстоятельств по инициативе инженера НИИ-8 Ю.М.Булкина группа конструкторов и физиков института в конце 1954 г. выдвинула идеи принципиального

изменения схемы движения воды в активной зоне и конструкции ТК. Было предложено отказаться от использования фильдовской схемы в конструкции ТВС, сделав их прямоточными (с заранее оттарированными гидравлическими сопротивлениями), что позволяло разместить в ТВС не 23, а 37 твэлов, от специальных регулирующих клапанов для индивидуальной настройки расходов воды через ТВС. Кроме того, организовать двухходовое движение потока воды в активной зоне: сначала через центральные, с более высокой тепловой мощностью, ТВС, а затем через периферийные. При этом исключался и вывод верхних частей каналов через крышку. В начале 1955 г. эти идеи были конструктивно проработаны (рис. 8), обоснованы физическими и тепловыми расчетами. Предложения по столь значительному изменению проекта внутриреакторных устройств были поддержаны Н.А. Доллежалем, а затем и А.П. Александровым, одобрены секцией № 8 НТС Минсредмаша, однако встретили сильное сопротивление завода № 92, где завершалась разработка рабочих чертежей реактора и шло изготовление его узлов. Понадобилось активное вмешательство Е.П.Славского, чтобы завод согласился с указанными предложениями. После анализа состояния производства было принято в какой-то мере паллиативное решение: конструкцию каналов и экранной сборки изменить во всех реакторах. Впредь их крышки изготавливать без сквозных отверстий для технологических каналов, одну практически готовую крышку с отверстиями использовать для реактора наземного стенда ЯЭУ вместе со специально изготовленными каналами без регулирующих расход воды устройств в их верхних частях и с прямоточными ТВС.

Заметим в этой связи, что уже в процессе работы стенда 27 ВМ из-за частых выходов из строя термометров сопротивления, замерявших температуру воды на выходе из каждого ТК, пришлось отказаться и от этой системы контроля. В последующем через крышки реакторов стендовой и корабельных ППУ выводились только гильзы для стержней АР и АЗ, для термометров и термопар, контролировавших температуру воды в смесительных камерах на выходе из центральных и периферийных ТК, а также в некоторых, так называемых “реперных” каналах.

Приведенные примеры свидетельствуют о том, что разработанный в условиях недостатка знаний и опыта проект первой корабельной ППУ не мог, да и не должен был рассматриваться как нечто раз и навсегда зафиксированное, застывшее. Он непрерывно совершенствовался, обогащаясь свежими идеями, более рациональными решениями, что характерно для процесса создания образцов действительно новой техники. Примечательно и то, что в ведущих организациях по проекту – ЛИП АН СССР и НИИ-8 – делалось это в основном творческими усилиями молодых инженеров – недавних выпускников вузов.

1.3. Изготовление оборудования, монтаж и испытания ЯЭУ на наземном стенде

В июле 1953 г. постановлением СМ СССР № 1987-814 определяются объем и сроки выполнения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и проектных работ по созданию опытной АПЛ проекта 627. Этим же постановлением подтверждается и конкретизируется ранее принятое решение о сооружении в Лаборатории “В” наземного стенда ядерной энергетической установки корабля – стенда 27 А (позднее он получил индекс “27 ВМ”).

Основные задачи стенда – проверка работоспособности установки и ее элементов, удобства обслуживания и ремонтов, условий обитаемости в энергоотсеках, а также

подготовка экипажей АПЛ. В процессе испытаний стендовой ЯЭУ предусматривалось отработать технологическую схему установки и взаимодействие входящих в нее систем, в том числе систем контроля, управления, регулирования и защиты, на различных режимах работы вплоть до получения номинальной мощности на выходном валу ГТЗА, уточнить тепловые и гидравлические характеристики всего оборудования ЯЭУ, а также физические характеристики реактора, проверить эффективность биологической защиты, выявить особенности эксплуатации установки, определить ресурсные возможности ее составных частей. Кроме того, планировалось отработать операции перегрузки активной зоны реактора, определить условия проведения осмотров и ремонтов оборудования, трубопроводов и др. устройств, получить экспериментальные данные по другим вопросам, связанным с постройкой и эксплуатацией опытных и серийных АПЛ.

Документация на строительство наземного стенда разрабатывалась следующими организациями:

- Ленгипрострой – здания и сооружения стенда с обеспечивающими его работу системами;
- СКБ-143 – энергетические отсеки стенда;
- НИИ-8 – ядерная энергетическая установка.

Исходя из задач стенда, на нем были воспроизведены реакторный и турбинный (соответственно 5-й и 6-й) отсеки АПЛ с размещенными в них на штатных местах оборудованием, механизмами, трубопроводами, приборами систем ЯЭУ правого борта лодки. Управлялась энергоустановка также штатной системой с центрального пульта. Мощность с линии гребного вала снималась гидротормозом, имевшим сходные с гребным винтом характеристики. В здании стенда были предусмотрены хранилища для “свежих” и отработавших технологических каналов, мостовые краны с защищенными от радиоактивных излучений кабинами управления, к зданию вели железнодорожные пути.

Естественно, наземное размещение лодочной ЯЭУ, к тому же только одного борта, внесло определенные отличия по сравнению с проектом АПЛ в компоновку и условия работы отдельных систем установки и корабля. В частности:

- пространство 5-го отсека, предназначенное для установки реактора и камер парогенератора ППУ левого борта, было заполнено бетонными блоками;

- вместо окружающей подводную лодку морской воды использовалась техническая (пресная) вода, ею частично заполнялась та часть здания стенда, где размещался реакторный отсек. Также технической водой, перекачиваемой нештатными насосами и охлаждаемой в брызгальном бассейне промплощадки, осуществлялся отвод тепла от оборудования ППУ и ПТУ;

- необходимое для работы оборудование электроэнергетической системы АПЛ (аккумуляторная батарея, токопреобразователи, резервный генератор постоянного тока и др.), расположенное в других отсеках лодки, размещалось в специальных помещениях стендового здания;

- вентиляция 5-го и 6-го отсеков осуществлялась по разомкнутой схеме с забором атмосферного воздуха и выбросом его после прохождения отсеков в спецвентиляцию промышленной площадки;

- дренаж активных вод обеспечивался самотеком в специальные емкости стендового здания.

Как видно, указанные отличия не носили принципиального характера и не могли сколько-нибудь значительно сказаться на условиях проведения и результатах испытаний установки на стенде.

В июле 1955 г. завершились основные строительные работы по зданию и вспомогательным сооружениям стенда, по установке в здании изготовленных заводом № 402 корпусов энергетических отсеков и внутрикорпусных конструкций, и стенд был готов к приему оборудования ЯЭУ для его монтажа. К этому времени вступили в завершающую фазу и работы по изготовлению тех компонентов ППУ, которые должны были устанавливаться в первую очередь – железобетонной защиты, корпуса реактора, камер парогенератора, баллонов компенсатора объема, насосов первого-четвертого контуров, крупной арматуры, а также составных частей ПТУ – конденсатора, турбоагрегата, циркуляционного, питательных и других насосов.

Характерной особенностью изготовления оборудования для стендовой и выпускавшейся практически одновременно с ней корабельной ЯЭУ являлось то, что оно осуществлялось в чрезвычайно сжатые сроки, часто без соблюдения традиционных для военной техники процедур его отработки: сначала экспериментальный, затем опытный и поставочный образцы с проведением заводских и межведомственных испытаний и корректировкой технической документации после каждого этапа. Как выпуск рабочих чертежей, так и изготовление по ним деталей и узлов оборудования для стендовой установки в отличие от обычной практики не контролировались представителями военной приемки. Все это, безусловно, существенно сократило сроки поставки оборудования, но в то же время порождало уже в процессах технологической подготовки и изготовления немало самых разнообразных вопросов, особенно по оборудованию ППУ, не имевшему аналогов и производимому впервые – “с листа” рабочего чертежа. Решения конструкторам, технологам, производственникам приходилось принимать в срочном порядке, что отражалось на их качестве.

Изготовителем большей части оборудования ППУ для наземного стенда и АПЛ – реакторов, исполнительных механизмов СУЗ, железобетонных защит, баллонов компенсаторов давления, фильтров теплоносителя первого контура, герметичных выгородок, комплекса механизмов и устройств для замены дефектных ТК, крупных трубопроводов первого контура и др. – являлся уже упоминавшийся завод № 92. Рабочие чертежи этого оборудования разрабатывались сотрудниками возглавляемого И.И. Африкантовым заводского ОКБ вместе с откомандированной в бюро летом 1954 г. большой группой конструкторов НИИ-8, чертежи механизмов СУЗ – с группой С.М. Франкштейна (ОКБ-12). Руководили разработкой рабочего проекта Ю.Н. Кошкин и П.А. Деленс. Технологическая отработка чертежей осуществлялась специалистами соответствующих служб завода, после чего они сразу же поступали в цеха. Параллельно с этим в ОКБ завода вместе с технологами разрабатывались необходимые стенды и оснастка для проверки оборудования и его узлов. В процессе разработки рабочих чертежей и изготовления оборудования ППУ на завод № 92 регулярно приезжали научный руководитель и главный конструктор установки, что позволяло конструкторам и производственникам оперативно решать с ними возникавшие наиболее сложные вопросы. Ход рабочего проектирования и изготовления постоянно контролировался руководящими работниками Минсредмаша и Миноборонпрома, в систему которого входил завод.

Необходимо отметить, что для экономии времени крупногабаритные с длительным циклом изготовления поковки и заготовки для корпусов, крышек, экранов реакторов

были заказаны еще до выпуска рабочих чертежей, по документации технического проекта, на сталинградском заводе “Баррикады” и Ижорском (г.Колпино). Работы на этих заводах шли в тесном взаимодействии со специалистами ЦНИИ-48. Окончательная обработка деталей и узлов корпусов, их футеровка вставными рубашками, изготовление экранных сборок с компенсирующими решетками, технологических каналов (ТВС для них поставлялись заводом № 12) осуществлялись заводом № 92. К июлю 1955 г. первый из реакторов, предназначенный для наземного стенда, был изготовлен и укомплектован. Это дало возможность провести на заводе уже упоминавшиеся исследования и контрольные проверки нейтронно-физических характеристик и внести необходимые коррективы в конструкцию некоторых элементов активной зоны. К концу 1955 г. корпус вместе с другими комплектующими реактор узлами после приемки их специально созданной межведомственной комиссией были отгружены на промплощадку Лаборатории “В”.

Первые образцы железобетонной защиты (для наземного стенда и опытной АПЛ), представлявшие собой достаточно объемные конструкции коробчатой формы, заполненные большим количеством листовых экранов, были изготовлены из углеродистой стали. Для предохранения от коррозии многочисленных поверхностей использовалась технология шоопирования – напыления на них защитного слоя цинка. Однако как сама технология, так и методы контроля качества покрытия оказались недостаточно отработанными, что привело уже в процессе испытаний ППУ к массовому отслаиванию цинка и попаданию его в теплоноситель третьего контура установки. Серьезных неприятностей при работе ППУ это не доставляло (теплоноситель очищался в фильтрах контура), тем не менее, уже начиная с головной АПЛ (пр. 627А), углеродистая сталь в железобетонной защите была заменена на аустенитную. По-видимому, это было поспешным и не очень продуманным решением, так как конструкция защиты из углеродистой стали без особых проблем длительно эксплуатировалась на наземном стенде и опытной АПЛ пр. 627, а использование аустенитной стали на последующих кораблях привело к определенному ухудшению радиационной обстановки при выполнении ремонтных работ в 5-м отсеке из-за повышения вклада наведенной активности, связанного с образованием под действием облучения в аустенитной стали долгоживущего изотопа ^{60}Co .

Баллоны компенсатора давления теплоносителя первого контура, как и корпуса реакторов, изготавливались заводом № 92 в кооперации с заводом “Баррикады”. Очень сложными для производителей узлами оказались размещаемые внутри баллонов тонкостенные разделительные сильфоны из аустенитной стали. После опробования различных вариантов технологии их удалось изготовить с соблюдением предъявленных требований по герметичности. Однако уже первые испытания контура после завершения монтажа стендовой установки выявили нарушение герметичности сильфонов (оно произошло, по-видимому, в процессе транспортировки или установки баллонов), что вынудило отказаться от их применения и предотвратить опасность интенсивного насыщения воздухом теплоносителя первого контура другим способом.

Значительную долю в объеме поставок завода № 92 занимали трубопроводы первого контура. Для того, чтобы свести к минимуму подгоночные работы при их монтаже в 5-м отсеке, на заводе был сооружен технологический стенд, воспроизводивший расположение мест стыковки труб с оборудованием ППУ, опоры трубопроводов и близко размещенные корпусные и фундаментные конструкции отсека, корабельное оборудование. После проверки и подгонки на этом стенде трубопроводы отгружались

для монтажа на наземном стенде и на АПЛ. Такая технология была принята для трубопроводов с наружным диаметром 89 мм и более. Трубопроводы меньшего диаметра изготавливались непосредственно на месте монтажа. Для сборки трубопроводов завод № 92 изготавливал также соединительные детали (переходники, тройники, штуцеры и др.), заказывал и поставлял на монтаж комплектующую арматуру. В процессе изготовления отрабатывались технология гибки труб из аустенитной стали, методы контроля толщин их стенок, сплошности металла, чистоты поверхностей и т.п. Впоследствии от поставки готовых трубопроводов отказались, гибка и подгонка труб производились непосредственно на судостроительном заводе, а завод № 92 заказывал прямые трубы, арматуру и поставлял их на монтаж вместе с изготовленными соединительными и переходными деталями.

Парогенераторы изготавливал Балтийский завод по документации СКБК-189. Эти составные части ППУ были одними из немногих, тепловые и гидравлические характеристики которых удалось проверить еще до начала работы наземного стенда на опытном образце цилиндрической камеры парогенератора при испытаниях ее в СКБК. К сожалению, испытания, подтвердив правильность конструкторских решений, были кратковременными и проводились с использованием во втором контуре очищенной котловой воды. Естественно, что они не позволили уже на данном этапе выявить принесшую впоследствии много неприятностей органическую “болезнь” высоконапряженных трубных поверхностей, изготовленных из аустенитной стали – их достаточно быструю (через 700-800 ч эксплуатации) коррозионную повреждаемость в присутствии кислорода и хлоридов, попадающих при работе ППУ во второй контур из забортной воды, например, при обнаруживаемых неплотностях конденсатора турбины.

Изготовление и поставка главных и вспомогательных циркуляционных бессальниковых электронасосов первого контура осуществлялись Кировским заводом по документации заводского ОКБ. Для работы асинхронных электродвигателей насосов при питании их постоянным током ВНИИЭМ разработал, а завод “Электросила” изготовил необходимые токопреобразователи. Наибольшие трудности при создании насосов вызвали подбор износостойких материалов для подшипниковых пар, обеспечение приемлемых температурных условий их работы при эксплуатационных параметрах теплоносителя, формирование тонкостенной (чтобы значительно не ослаблять магнитные потоки в системе “статор-ротор” электродвигателя) и в то же время герметичной рубашки статора. Не все проблемы удалось качественно решить до поставки первых образцов насосов. Впоследствии их конструкции и технологии изготовления подверглись серьезным усовершенствованиям.

Насосы третьего и четвертого контуров ППУ изготавливались соответственно Шелковским насосным и Сумским машиностроительным заводами по документации ВНИИГМ, а теплообменники третьего-четвертого контуров и расхолаживания – Сумским заводом по документации, разработанной совместно конструкторами НИИ-8 и завода.

Практически всю арматуру для ППУ пришлось создавать заново, поскольку традиционные для этих изделий сальниковые уплотнения подвижных штоков не могли быть допущены в герметичных контурах установки. Кроме того, требовалось много дистанционно управляемой (с гидро- и пневмоприводами) арматуры различных типоразмеров. Основным разработчиком новых, с сильфонными уплотнениями, запорных, регулирующих и др. клапанов было ЦКБА, а изготовителями и поставщиками

- ленинградские заводы “Знамя труда” и имени Лепсе. Работа арматуры в составе установок наземного стенда и АПЛ, как будет видно далее, тоже не обошлась без замечаний: случались отказы ее приводов, оказались ненадежными однослойные сильфоны, износ стеллитовых наплавов посадочных поверхностей стал одним из источников распространения по первому контуру радиоактивного кобальта, что вносило свою лепту в трудности проведения ремонтных работ. Только накопив определенный опыт эксплуатации и реализовав ряд усовершенствований, удалось добиться необходимой работоспособности и надежности этих изделий.

Многочисленные контрольно-измерительные приборы разрабатывались, изготовлялись и поставлялись на наземный стенд НИИТеплоприбором и московским заводом “Манометр”. Разработчики систем автоматики теплообмена и СУЗ уже указаны выше, а основными их изготовителями являлись соответственно завод “Красная заря” и ОКБ-12.

Монтаж оборудования и систем стендовой установки был поручен инженерам и рабочим конторы № 6 треста “Спецхиммашмонтаж” под руководством главного инженера треста В.Ф.Гусева. В монтаже принимали участие также представители предприятий-разработчиков и поставщиков. Постоянное авторское сопровождение обеспечивала возглавляемая П.А. Деленсом бригада конструкторов НИИ-8, при необходимости к решениям различных вопросов привлекались другие специалисты института, а также ЛИП АН СССР и СКБ-143. Приемку выполненных работ вел персонал Лаборатории “В” – будущие эксплуатационники во главе с главным инженером Д.М.Овечкиным и руководителями объекта Н.Р.Гурко и Р.В.Егоровым. В монтаже, а затем и в наладке систем принимали участие и члены первых двух экипажей АПЛ, прибывшие в Обнинск для обучения. Работы находились под постоянным контролем А.П.Александрова, Н.А.Доллежала и Д.И.Блохинцева, а также руководителей Минсредмаша.

Сколько-нибудь значительной отработки приемов проведения подобного рода сложных монтажных работ и, в частности, детальной технологии их выполнения внутри отсеков, оптимальной последовательности отдельных операций, способов и методов контроля, обеспечения чистоты контуров и т.д., практически не существовало. И хотя принципиальная технология и была предварительно намечена, на деле большинство вопросов решалось в процессе работ. С одной стороны, это сказывалось на сроках выполнения монтажа, с другой – уже на этапе сооружения наземного стенда ЯЭУ дало возможность получить ценную информацию для корректировки ряда проектных решений, а также для выработки рациональных приемов монтажа оборудования, наладки и настройки сложных технологических систем и систем управления ППУ и ПТУ. Накапливался опыт, оказавшийся весьма полезным при постройке АПЛ. Так, в частности, при монтаже систем ЯЭУ наземного стенда впервые пришлось столкнуться с необходимостью 100%-ного контроля сварных швов с применением нескольких методов: рентгеноскопии, проверки гелиевым теплоносителем, люминесцентного и др. Такое внимание к сварным соединениям объяснялось тем, что кроме сложностей выполнения требований к тому или иному сварному шву проведение работ было затруднено затесненностью отсеков и труднодоступностью большинства свариваемых стыков. Другим примером является проведенная также впервые под руководством и при участии специалистов-физиков, рассчитывавших биологическую защиту, ручная укладка всех ее компонентов с тщательной проверкой их состава и структуры, заполнения ими

отведенных полостей, заделкой “простреливаемых” щелей и т.д. Получаемая в ходе монтажа информация оперативно анализировалась, и необходимые коррективы вносились в техническую документацию корабельной ЯЭУ.

К марту 1956 г. вся материальная часть наземного стенда была подготовлена к действию. Последние дни перед физическим пуском реактора работы шли круглосуточно. Подробные задания на каждую смену выдавал лично А.П. Александров, руководивший всеми работами на стенде и назначавший подчинявшихся только ему сменных научных руководителей, поскольку началась загрузка аппарата технологическими каналами, т.е. потенциально ядерно-опасная операция. Научный руководитель смены являлся также и старшим инженером управления и должен был постоянно находиться на пульте установки. Операторами управления были назначены офицеры первого экипажа АПЛ, прошедшие до этого обучение (со стажировкой на первой АЭС), изучившие подготовленную в начале 1956 г. группой сотрудников ЛИП АН СССР, НИИ-8 и Лаборатории “В” “Технологическую инструкцию по управлению ЯЭУ” и проэкзаменованные (как и старшие инженеры) А.П. Александровым.

Разрешение на пуск давала специальная комиссия во главе с первым заместителем министра среднего машиностроения Е.П. Славским, подробно рассмотревшая технические и организационные аспекты предстоящего пуска, вопросы безопасности. Физический пуск реактора на стенде 27 ВМ состоялся 8 марта 1956 г. и проходил также под руководством А.П.Александрова.

В первый период эксплуатации стенда 27 ВМ были проведены физические исследования активной зоны реактора, в том числе при рабочих давлениях и температурах теплоносителя, которые подтвердили проектные нейтронно-физические характеристики зоны и позволили развернуть работы по их дальнейшему улучшению.

Исследования биологической защиты показали, что в целом в воспроизведенных на стенде отсеках АПЛ обеспечивается нормальная (проектная) радиационная обстановка. Отдельные упущения, связанные с наличием неучтенных в расчетах некоторых нерегулярностей (пустот и щелей) в биологической защите, были оперативно устранены, а соответствующие изменения внесены и в чертежи защиты корабельной АПЛ. Была изучена радиационная обстановка в отсеках стенда и при возникновении различного рода аварийных ситуаций. В целом результаты исследований помогли в кратчайший срок обосновать правильность принципиальных решений по новой для того времени достаточно компактной биологической защите ядерной установки для использования на АПЛ, а также пригодность методики расчета такого типа защит и технологии ее монтажа.

Одной из наиболее сложных, как уже отмечалось, оказалась проблема работоспособности активной зоны реактора, и в первую очередь тепловыделяющих элементов. В этой проблеме сошлись весьма разноплановые трудности, связанные с выбором материалов и технологий изготовления топливных композиций и оболочек твэлов, других элементов зоны, работающих в условиях интенсивного воздействия высоких нейтронных и γ -поток, больших тепловых нагрузок, коррозионных факторов и т.п., с необходимостью обеспечения при различных режимах работы установки надежного охлаждения твэлов, ТВС, стержней СУЗ, с отсутствием в то время экспериментальных данных о поведении элементов зоны и пределах их стойкости в условиях эксплуатации. Именно поэтому не удалось однозначно установить причины появления и постепенного нарастания вскоре после начала эксплуатации наземного стенда активности

теплоносителя первого контура из-за попадания в него из твэлов радиоактивных продуктов деления. Согласно одному из научно-технических отчетов, это стало следствием нарушения циркуляции теплоносителя в активной зоне, вызванного разрывом нескольких расположенных внутри реактора трубок для стержней аварийной защиты. Требуемые условия охлаждения твэлов могли быть нарушены и нерасчетными перетечками воды в активной зоне. Наконец, продукты деления могли проникнуть в воду через не обнаруженные при изготовлении и развившиеся в процессе работы реактора дефекты оболочек твэлов. Само по себе повышение активности теплоносителя позволяло продолжить испытания, поскольку радиационная обстановка в обслуживаемых помещениях стенда за биологической защитой находилась в пределах допустимых норм. Однако проведение некоторых ремонтных работ было связано со значительными дозозатратами, требовало участия большого числа персонала.

В конце декабря 1956 г. после нескольких часов работы стендовой установки на мощности около 77 % номинальной произошел «пережог» активной зоны. Причиной «пережога» стала крупная течь теплоносителя первого контура, возникшая из-за потери герметичности одной из гильз для экспериментальных замеров и приведшая к резкому падению давления в контуре и последовавшей за ним остановке циркуляционных насосов. Реактор был остановлен аварийной защитой. Так закончилась первая кампания работы стендовой ЯЭУ. И хотя она была сравнительно короткой, полученные на этом этапе испытаний энергоустановки результаты позволили подтвердить правильность и реализуемость принципиальных технических решений, заложенных в проекте, выявить ряд нерациональных решений, исправить ошибки в конструкциях и технологиях изготовления оборудования и систем, найти пути недопущения их в дальнейшем, определить первоочередные меры по усовершенствованию корабельной ЯЭУ, направленные на повышение ее надежности и ремонтпригодности, улучшение эксплуатационных качеств и условий обслуживания, обеспечение нормальной обитаемости АПЛ. К наиболее значительным из выполненных в этот период или проработанных для дальнейшего осуществления технических решений следует отнести следующие:

- Выполнение перегрузки сменных элементов активной зоны, в том числе и каналов с потерявшими герметичность твэлами, только в базовых условиях при вскрытом реакторе, что дает возможность отказаться от уплотнения в крышке реактора каждого канала. Одновременно было признано необходимым удалить из реакторной выгородки все механизмы и устройства для замены каналов и их хранилище. Благодаря этому значительно повышается надежность герметизации первого контура и уменьшается затесненность надреакторных помещений.

- Упрощение системы первого контура. Из ее состава были исключены бессальниковые гидрозатворы Ду150 и Ду80 на всасывающих магистралях главного и вспомогательного насосов контура, расположенные в насосной выгородке, а также установленные там же теплообменники расхолаживания. Более рационально были размещены линии воздухоудаления и дренажа, при этом количество арматуры на этих линиях сократилось. Кроме того, изменилась система подпитки первого контура, из нее были исключены подпиточные емкости, замененные подпиточными насосами, что существенно повысило оперативность работы и надежность этой системы.

- Замена гидравлических приводов стержней аварийной защиты на электро-механические приводы. Ненадежность работы гидравлической системы была выявлена

вскоре после начала эксплуатации установки. Свою роль при принятии решения об отказе от этой системы сыграло и произошедшее при работе установки внезапное сильное повреждение пучка наружных трубок системы (вблизи от их входа в корпус реактора), начальной причиной которого стало, очевидно, образование свища в одной из трубок, а последствием — большая течь теплоносителя первого контура.

- Изменение конструкции компенсирующей решетки. Сборку из вертикальных труб рекомендовалось заменить на набор из горизонтальных листов с увеличенными зазорами между кожухами ТВС и стенками отверстий листов, что исключало бы возможность заклиниваний решетки даже в случае появления в процессе работы реактора сравнительно больших (до 3-4 мм) изгибов ТВС.

- Изменение конструкции баллонов и компоновки трубопроводов системы компенсации объема теплоносителя первого контура. Разделительные сильфоны в баллонах были заменены змеевиками, в которых, хотя и имел место непосредственный контакт газа с теплоносителем, но он ограничивался сечением труб. Новая компоновка трубопроводов обвязки баллонов обеспечивала возможность лучшего доступа к ним и более приемлемые условия для монтажа и ремонта. Воздух высокого давления в системе был заменен на инертный газ — сначала на аргон (что, как вскоре выяснилось, привело к повышению активности теплоносителя), затем — на гелий (однако утечки этого дефицитного газа оказались слишком большими), а позднее, уже в начале 1960-х годов — на азот, оказавшийся наиболее удачным выбором для условий эксплуатации ППУ.

- Существенная доработка конструкции, технологии изготовления и сборки герметизирующих рубашек электродвигателей циркуляционных насосов первого контура. Нарушения плотности и геометрической формы рубашек приводили как к потере герметичности контура, так и к аварийным остановкам насосов.

Указанные технические решения, как и ряд других вытекающих из опыта создания и первого этапа испытаний наземного стенда усовершенствований, удалось реализовать в основном до начала поставки оборудования ЯЭУ первой АПЛ. Этот опыт широко использовался и при подготовке документации для завода-строителя по сборке и монтажу оборудования, трубопроводов, биологической защиты корабельной энергоустановки, при выработке требований к качеству выполнения всех операций и его проверке. Так, в частности, одним из приоритетных по результатам работ на стенде (к сожалению, не всегда удачным) стало требование о строжайшем соблюдении технологий сварки и контроля сварных соединений. В целом же все это сыграло важную роль при монтаже, наладке, испытаниях и последующей эксплуатации корабельной ЯЭУ.

Нельзя не отметить и значимость полученного опыта в том, что он дал возможность конкретизировать, сделать более целенаправленными многие из связанных с созданием энергоустановок подобного типа научных исследований, конструкторских и технологических разработок.

Более продолжительной и также результативной стала вторая кампания стенда 27 ВМ, длившаяся с мая 1957 г. по апрель 1959 г. Прежде всего при извлечении из реактора поврежденной активной зоны были практически отработаны приемы выгрузки тепловыделяющих сборок и “корзины” активной зоны — сборки 26. Затем в ходе ремонтных работ удалось завершить реализацию большинства из указанных выше усовершенствований. Наконец, во время второй кампании начали внедряться и проходить проверку практикой первые результаты крупных исследовательских и опытно-

конструкторских работ, развернутых после начала эксплуатации корабельной ЯЭУ (см. разд. 3.4), по повышению допустимой мощности реактора, изысканию экономичных режимов работы установки, поиску оптимальных водно-химических режимов первого и второго контуров и др. В реальных условиях были отработаны методы загрузки в реактор компонентов активной зоны, технологии выполнения ремонтных операций. Таким образом, по завершении второй кампании стенд 27 ВМ выполнил свои главные задачи. Его сооружение и эксплуатация в сочетании с результатами начавшихся в 1958 г. испытаний ЯЭУ на опытной АПЛ обосновали возможность оснащения ядерной энергетикой создаваемого в стране атомного подводного флота. Важна роль стенда и в подготовке первых экипажей АПЛ в организованном на его базе учебном центре ВМФ.

После второй кампании цели и содержание работ на стенде несколько изменились. Продолжая использоваться для обучения военных моряков, стенд на длительный период стал основной экспериментальной базой для заключительных (после отработки в реакторных петлях) полномасштабных испытаний в натуральных условиях новых ТВС, твэлов, поглощающих стержней и др. элементов, активных зон в целом и для проверки ряда образцов усовершенствованного оборудования корабельной ППУ. Оригинальным новшеством было формирование “пестрых” активных зон, в состав которых входили экспериментальные ТВС с твэлами различного типа, оснащенные средствами для измерения физических и тепловых характеристик. В сочетании с применением предложенного разработчиками проектов “пестрых” зон НИИ-8, ИАЭ, НИИ-9 и работавшими на стенде сотрудниками ФЭИ метода частичных перегрузок испытания этих зон дали возможность проверять работоспособность экспериментальных ТВС в широком временном диапазоне, что позволяло получать достоверные данные о ресурсах работы твэлов.

Оборудование ППУ испытывалось одновременно с активными зонами. Так, в третьей кампании в составе реакторной установки проходили проверку две цилиндрические камеры разработанного в СКБК-189 парогенератора ПГ-147 с трубной системой из титанового сплава, в четвертой кампании – 8 камер ПГ-13У с трубной системой из углеродистой стали, а также созданные в ОКБ ЛКЗ улучшенные образцы насосов теплоносителя первого контура – ГЦНПК-146П и ВЦНПК-147П.

1.4. Изготовление ЯЭУ для опытной АПЛ

Ранее уже отмечалось, что изготовление оборудования энергоустановки для корабля осуществлялось практически одновременно с изготовлением оборудования для наземного стенда. Тем не менее разработчики ЯЭУ, используя опыт изготовления стендовой установки, ее монтажа и начального этапа эксплуатации, сумели в процессе изготовления и до завершения монтажа корабельной установки внести в схемно-конструкторские и компоновочные решения ряд изменений, направленных на ее усовершенствование. В основном они относились к ППУ и о некоторых говорилось выше. Кроме того:

- Организовано охлаждение водой третьего контура расположенного в “горячей” зоне биозащиты фильтра теплоносителя первого контура путем введения в конструкцию корпуса фильтра наружной рубашки. Схема включения фильтра в систему первого контура стала обеспечивать подачу охлажденного теплоносителя не только к фильтру, но и к подшипникам главного циркуляционного электронасоса, а также возможность взрыхления находящихся в фильтре сорбентов.

- Взамен громоздкого теплообменника расхолаживания (более рациональным оказалось использование парогенератора) введен компактный холодильник, в котором теплоноситель первого контура, подаваемый как к подшипникам циркуляционных насосов контура, так и на фильтр, охлаждался до нужных температур. Исключение теплообменника расхолаживания позволило значительно уменьшить затесненность насосной выгородки реакторного отсека, в которой размещается оборудование, требовавшее периодического обслуживания.

- Сильфонные клапаны с пневмоприводами на трубопроводах первого контура в насосной выгородке заменены более надежными, также сильфонными, но с ручным управлением.

- Для повышения надежности работы вспомогательного циркуляционного насоса первого контура предусмотрена резервная подача к его подшипникам теплоносителя от работающего главного циркуляционного насоса; введен также специальный расширитель перед трубопроводами насоса, выходящими в обслуживаемое помещение, чтобы существенно увеличить время до поступления воды в эти трубопроводы и тем самым понизить ее активность.

- Введена система вакуумирования необитаемых помещений реакторного отсека, повышены требования к их газоплотности с целью предотвращения попадания радиоактивных аэрозолей в обитаемые помещения. Кроме того, предусмотрена автономная система кондиционирования воздуха в реакторном отсеке и возможность его вентиляции в надводном положении АПЛ.

- Введена система ввода поглотителя — раствора азотно-кислого лития — для остановки реактора в аварийных ситуациях при выходе из строя органов компенсации реактивности.

- Перекомпонован пост управления установкой. Органы контроля и управления реакторами размещены на отдельном пульте, сокращено количество приборов и сигналов срабатывания аварийной защиты, упрощена система теплотехнического контроля.

Изменениям подверглась и компоновка приводов исполнительных механизмов СУЗ в реакторной выгородке в связи с исключением из состава ППУ устройств для замены технологических каналов — механизма поворота защитной плиты, перегрузочного контейнера, хранилища и др.

Приведенным не исчерпывается перечень санкционированных научным руководителем и главным конструктором нововведений в рабочую документацию, по которой изготавливалась корабельная установка, по сравнению с ее техническим проектом, а также с послемонтажным исполнением стендовой ЯЭУ. Представителями конструкторских организаций и заводов-изготовителей совместно со строителями корабля уже непосредственно на заводе-строителе АПЛ оформлялись технические решения по менее значительным изменениям конструкций отдельных механизмов, оборудования, систем, необходимость в которых выявлялась в процессе монтажных работ. Изменения оперативно отражались в рабочих чертежах и эксплуатационной документации.

Глава 2. Атомная подводная лодка пр. 627

2.1. Проектирование АПЛ. Основные тактико-технические характеристики

Начальный этап выработки самых общих представлений об облике первой отечественной атомной подводной лодки — этап предэскизного проектирования — стартовал сразу после выхода постановления правительства № 4098-1616. Об участниках работ на этом этапе, об их поисках, о проблемах, стоявших на пути к решению задачи, которая к тому времени приобрела национальное значение, уже рассказано в разд. 1.1. Очень наглядно эту стадию проектирования представил А.П.Александров в своих воспоминаниях: “Сначала, ввиду полного отсутствия отправных данных, мы договорились с В.Н. Перегудовым о примерных размерах ЯЭУ, ее мощности и ориентировочном значении веса и положения центра тяжести, хотя ни один из нас не имел понятия, какое оборудование в отсеках будет стоять”.

В качестве отправных данных принималось, что для создания боевой АПЛ с высокими скоростями подводного хода доли массы и объема ЯЭУ вместе с обслуживающими механизмами должны находиться в пределах (относительно водоизмещения корабля), установленных практикой проектирования для механических установок дизель-электрических подводных лодок с запасами топлива и масла. Достигнутые “договоренности” по энергоустановке, а также соображения по выбору водоизмещения АПЛ, мощностях дизель-генераторов, аккумуляторной батареи, принципах обеспечения обитаемости и др. были зафиксированы в пояснительной записке к предэскизному проекту объекта № 627, отпечатанной 31 января 1953 г. в НИИхиммаш и подписанной В.Н. Перегудовым и А.П. Александровым.

Сам предэскизный проект был выпущен в марте 1953 г. группой проектантов-подводников. В нем рассматривались два варианта подводной лодки: двухкорпусной и полторакорпусной. Прочный корпус был разделен поперечными переборками на девять отсеков: носовой, жилой, аккумуляторный, центрального поста, вспомогательного оборудования, реакторный, турбинный, электротехнический, жилой и кормовой. Легкий корпус в поперечном сечении — круговой формы, его носовая оконечность — в форме эллипсоида, кормовая — с двумя гребными винтами, горизонтальными и вертикальными стабилизаторами. Применение ядерной энергетики привело к резкому изменению внутреннего насыщения корабля и его архитектурного облика по сравнению с дизель-электрическими подводными лодками. Значительный объем прочного корпуса отводился для ППУ и ПТУ со вспомогательными системами, аппаратурой и агрегатами управления, блокировки и защиты, для корабельной электростанции, оборудования и приборов электроэнергетической системы. По другому требовалось решать вопросы, связанные с существенным увеличением времени нахождения лодки под водой. Появились новые вопросы: формирование эффективной защиты экипажа от радиации, выделение зон обитаемости, организация радиационного контроля помещений, продуктов питания и личного состава. Для обеспечения длительного плавания в подводном положении надлежало разработать соответствующее оборудование, осуществить конструктивные мероприятия по скрытности и защите подводной лодки (обесшумливание, противогидролокационное покрытие), разработать новое радиоэлектронное вооружение. В целом же по результатам выполнения предэскизных проработок (как по кораблю, так и по вновь создаваемому для него основному оборудованию) возможность создания АПЛ была установлена.

Для проведения работ на последующих стадиях проектирования АПЛ после неоднократных в ходе проработок уточнений величины водоизмещения (в основном в сторону увеличения) были приняты следующие основные тактико-технические характеристики АПЛ:

- водоизмещение нормальное	2650-2700 м ³
- предельная глубина погружения	250-300 м
- скорость подводная (полная)	22-25 уз
- длительность непрерывного хода	1200-1500 ч
- автономность	50-60 сут
- экипаж	70 чел.

Предэскизные проработки позволили приступить к проектированию первой отечественной АПЛ. Для выполнения проекта руководство Минсудпрома решило использовать одно из конструкторских бюро, осуществив в нем необходимые преобразования. С этой целью, согласно приказу министра судостроительной промышленности от 18 февраля 1953 г., полностью реорганизуется СКБ-143. Его начальнику поручается передать, а начальнику ЦКБ-18 принять все ранее начатые работы СКБ-143. В связи с передачей работ было предложено перевести в ЦКБ-18 на постоянную работу практически весь состав сотрудников СКБ-143, оставив лишь небольшой конструкторский коллектив для работ по новому направлению. Начальником СКБ-143 назначается В.Н. Перегудов, а бюро в соответствии с возложенными на него задачами начинает существенно пополняться инженерно-конструкторскими кадрами. К выполнению эскизного проекта АПЛ пр. 627 реорганизованное СКБ-143 приступило в марте 1953 г. Проект разрабатывался на основании постановлений СМ СССР от 18 апреля 1953 г. (им же было утверждено ТТЗ на АПЛ) и от 28 июля того же года. При проектировании за основу принимались материалы предэскизных проработок АПЛ и ее ЯЭУ. Базируясь на этих материалах, предстояло развить намеченные решения по кораблю с привлечением специализированных научных организаций, а также разработчиков большого числа образцов новой техники.

На первом этапе эскизного проектирования в бюро ведется широкий поиск оптимальной формы корпуса, рационального расположения оборудования и механизмов в отсеках АПЛ. Наряду с выполнением большого объема собственных проектных работ, усилия конструкторов направляются на разработку и выдачу технических заданий проектантам оборудования и исполнителям научно-исследовательских тем, наблюдение за ходом выполнения этих заданий. При необходимости к разработчикам оборудования командированы конструкторы бюро для совместного решения возникающих вопросов и оказания им технической помощи. Все работы ведутся под руководством ближайших помощников В.Н. Перегудова – Б.К. Разлетова, П.Д. Дегтярева, Г.А. Воронича, В.П. Горячева.

Статика корабля. Наибольший диаметр прочного корпуса определился габаритами ППУ и ПТУ, обслуживающими их системами, устройствами и механизмами. В эскизном проекте его величина составила 6,7 м. Диаметр носовой переборки прочного корпуса был установлен 4,5 м, исходя из условий расположения одного торпедного аппарата для торпеды калибра 1550 мм и двух — для торпед калибра 533 мм. Диаметр кормовой переборки 3,2 м был определен по результатам размещения рулевых приводов с учетом максимального поджатия внешних кормовых обводов в целях улучшения ходкости корабля. Длина прочного корпуса была установлена, исходя из габаритов размещения

по отсекам оборудования, а также с учетом обеспечения запаса водоизмещения на проектирование и модернизацию. В техническом задании на проектирование АПЛ отсутствовало требование об удовлетворении существовавших в то время условий надводной непотопляемости. Из двух вариантов конструкции подводной лодки, рассмотренных в предэскизном проекте (двух- и полуторакорпусного), для дальнейшего проектирования был принят двухкорпусной вариант, обеспечивающий высокий запас плавучести. Это позволяло выполнить требование непотопляемости в полной мере для случаев затопления любого отсека прочного корпуса, кроме турбинного. Для этого отсека выполнение требований непотопляемости не гарантировалось. Все цистерны главного балласта были приняты бескингстонными. Для более надежной работы системы погружения в двух средних и двух цистернах носовой и кормовой оконечностей предусматривались двухзапорные клапаны вентиляции.

Сотрудники специально выделенного сектора СКБ-143 вели строгий контроль за весовой (массовой) нагрузкой корабля. Все случаи отступлений в большую сторону от данных предэскизного проекта подвергались руководством бюро тщательному анализу. Принимались меры по устранению выявленных превышений. К сожалению, в ряде случаев компенсировать превышения по массе приходилось за счет водоизмещения корабля. В результате, с учетом данных разработчиков оборудования (в том числе превышения массы ПТУ на 85 т), водоизмещение корабля в эскизном проекте увеличилось на 200 м³. Мало того, общий центр тяжести наибольших составляющих массы корабля (ППУ и ПТУ) “ушел” на несколько метров в корму от середины прочного корпуса. В связи с этим плечо центра тяжести твердого балласта существенно удлинялось в нос лодки. Во избежание его выхода за носовую переборку диаметр прочного корпуса в районе второго отсека был уменьшен до 6,5 м. Данные по статьям весовой нагрузки АПЛ (кроме балласта и запаса водоизмещения) и их долям в ее водоизмещении приведены в табл.1 в сопоставлении с соответствующими данными дизель-электрических ПЛ пр. 611 и 613.

Как видно из табл.1, несмотря на увеличенную в 1,5 раза по сравнению с ПЛ пр. 611 и 613 глубину погружения, доля массы корпуса в водоизмещении АПЛ получилась на уровне доли в ПЛ этих проектов. Это было достигнуто за счет применения новой, более прочной корпусной стали. Масса энергоустановки (абсолютная и относительная) возросла в основном за счет биологической защиты. Вместе с тем, сумма долей энергоустановки, топлива, масла и воды не превысила такую же сумму у строившихся в то время дизель-электрических ПЛ. Это подтверждало возможность применения ЯЭУ с существенно большей мощностью при принятой в практике проектирования подводных лодок доле массы этой обобщенной статьи нагрузки в водоизмещении корабля. Относительное увеличение нагрузки по статье “Судовые системы” явилось результатом установки на корабле мощной системы кондиционирования и регенерации воздуха.

Ходкость и управляемость. Увеличение скорости подводного хода в 1,5-2 раза по сравнению с достигнутыми в отечественном и зарубежном подводном флоте скоростями привело к необходимости радикального изменения сложившихся архитектурных форм и принятия новых технических решений по кораблестроительной части проекта. Впервые не только в отечественном, но и в мировом кораблестроении наружные обводы корпуса были близкими к обводам тела вращения, а конфигурация носовой оконечности вместо традиционной штевневой - эллипсоидной. Такая форма является наиболее рациональной не только для снижения сопротивления при движении лодки под водой, но и по условиям управляемости корабля. Она оказалась целесообразной и для размещения крупногабаритной торпеды, предусмотренной в проекте АПЛ.

Таблица 1

Статьи весовой нагрузки	АПЛ пр.627		ПЛ пр.611		ПЛ пр.613	
	Масса, т	Доля в водоизмеще- нии, %	Масса, т	Доля в водоизмеще- нии, %	Масса, т	Доля в водоизмеще- нии, %
Корпус	1035,2	35	602,8	32,9	368,9	35,3
Вооружение	168,5	5,8	114,6	6,25	67,8	6,48
Главные меха- низмы и элект- рооборудование	1125,2	38,9	531,9	29,0	297	28,37
Вспомогательное оборудование	12,5	0,43	8,2	0,45	8,7	0,83
Средства защиты	19,6	0,68	-	-	-	-
Средства связи и наблюдения	32,2	1,12	30,3	1,65	13,1	1,25
Судовые системы	202,1	7,0	101,0	5,53	68,7	6,57
Топливо, масло, вода	49,5	1,71	318,2	17,4	133,4	12,8
Снабжение, запчасти, коман- да и провизия	50,7	1,75	40,6	2,22	26,8	2,57
Рабочие среды в механизмах и системах	27,6	0,96	16,7	0,91	7,6	0,73

Для снижения вихревого сопротивления и гидродинамических кренящих моментов, резко возрастающих при увеличении скорости движения лодки и высоты ограждения рубки, была разработана новая лимузинная форма ограждения с объемным обтеканием. В кормовой оконечности, в районе гребных винтов, на уровне линий гребных валов для обеспечения устойчивого движения корабля предусматривались горизонтальные стабилизаторы. Кормовые горизонтальные рули в целях повышения их эффективности располагались за гребными винтами.

Особого внимания потребовали вопросы управляемости лодки на больших, ранее недостижимых скоростях подводного хода. При ручном управлении движением АПЛ возрастала опасность возникновения значительных дифферентов и переуглублений корабля. Крайне необходимой становилась разработка автоматических систем управления движением корабля. Для разработки рулевых приводов, автоматических систем стабилизации глубины, курса и ряда других новых систем и устройств требовалось знание гидродинамических характеристик корабля при новых формах обводов. С этой целью СКБ-143 вместе с головным институтом кораблестроения — ЦНИИ-45, возглавляемым В.И. Першиным, развернули ряд крупных научно-исследовательских работ. В их числе: экспериментальные исследования гидродинамического поля с проведением буксировочных и самоходных испытаний моделей различных вариантов корпусов ПЛ, разработки методик пересчета полученных при испытаниях характеристик моделей, теоретические и экспериментальные исследования влияния гребных винтов на

управляемость корабля, теоретические исследования влияния свободной поверхности и дна моря на гидродинамические характеристики корабля, разработки малозумных и “не поющих” винтов. Изучались поворотливость лодки в надводном положении, срочные погружения с ходом и без хода, бортовая и килевая качки. Для этих исследований были изготовлены соответствующие экспериментальные установки и аппаратура, в том числе впервые в отечественном кораблестроении специальные устройства для подводных испытаний моделей в опытовом бассейне. Большой комплекс работ по управляемости корабля выполнялся филиалом ЦАГИ им. Н.Е. Жуковского.

Исследования с использованием моделей различных вариантов корпусов ПЛ позволили получить данные по коэффициентам сопротивления воды движению корабля, его управляемости в надводном и подводном положениях. С учетом этих данных определились геометрические размерения элементов теоретического чертежа, носовой оконечности, кормового комплекса и ограждения рубки. Полученные в эскизном проекте характеристики ходовых качеств подводной лодки приведены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристика	АПЛ пр.627	ПЛ пр.611	ПЛ пр.613
Водоизмещение, м ³ :			
- нормальное	2896	1832	1045
- полное подводное	4500	2300	1500
Скорость подводная полная, уз	24-25	15	13
Относительная длина	6,36	6,85	6,65
КПД гребных винтов, %	46,5	51,4	51,0
Пропульсивный коэффициент	0,645	0,543	0,52
Частота вращения гребных винтов, об/мин	500	420	420
Коэффициент попутного потока	0,27	0,29	0,22
Коэффициент засасывания	0,25	0,31	0,20

Скорость полного подводного хода ПЛ была установлена по результатам буксировочных и самоходных испытаний моделей с необходимым запасом, учитывая отсутствие в то время достоверных данных и опыта эксплуатации кораблей с нанесенным на их наружную поверхность резиновым противогидролокационным покрытием. На основании буксировочных испытаний моделей в надводном положении было установлено, что заливание ограждения рубки не будет происходить до скорости 14-15 уз.

Корпус. Разработка корпусных конструкций производилась с учетом ряда особенностей проектировавшейся АПЛ, отличавших ее от лодок с традиционной энергетикой. Среди этих особенностей необходимо отметить следующие:

- увеличенная глубина погружения и, следовательно, повышенное гидростатическое давление на прочный корпус;
- использование новой стали для корпусных конструкций, воспринимающих заборное давление;
- размещение в прочном корпусе массивных и крупногабаритных агрегатов ППУ и ПТУ со своими специфическими требованиями по месту расположения и условиям эксплуатации;

- значительное увеличение водоизмещения и главных размерений лодки, диаметра ее прочного корпуса;
- новая архитектура наружного корпуса;
- увеличенная в 2 раза подводная скорость и повышенная интенсивность воздействия на корпус переменных гидродинамических усилий при работе гребных винтов;
- применение специальных покрытий на корпусных конструкциях;
- установка торпедного аппарата большого калибра.

Проработки конструкции прочного корпуса показали, что использование для его изготовления ранее разработанных для подводных лодок сталей марок СХЛ-4 и МС-1 приводит к нерациональному возрастанию водоизмещения. Не давало ожидаемого эффекта и применение созданной для больших надводных кораблей стали марки АК-17. Для сохранения доли массы корпуса в водоизмещении корабля, установленной опытом проектирования подводных лодок, требовалась сталь с повышенными механическими свойствами. Проблема создания и внедрения новой марки стали оказалась тесно связанной с вопросами расчетного обоснования прочности корпуса, поскольку существовавшие в то время методики и нормы были разработаны, исходя из механических свойств ранее применявшейся стали с пределом текучести 40 кгс/мм^2 и гидростатического давления, соответствующего 200-метровой глубине погружения.

Разработка новой корпусной стали АК-25, из которой могли бы изготавливаться листы и необходимые профили, выполнялась ЦНИИ-48 по техническому заданию СКБ-143. Заданием предусматривалось также создание соответствующих сварочных материалов для ручной, полуавтоматической и автоматической сварки, а также поковок и отливок повышенной прочности, свариваемых как со сталью марки АК-25, так и с предложенной ЦНИИ-48 в качестве резервного варианта сталью марки АК-17. В результате проведения научно-исследовательских и опытных работ были выбраны химический состав хромоникельмолибденовой стали АК-25, технология изготовления из нее деталей и их термической обработки. Руководили работами директор ЦНИИ-48 А.С. Завьялов и главный инженер Г.И. Капырин, а ответственным за разработку химического состава, технологии термической обработки и исследования новой корпусной стали и конструкций из нее был И.В. Горынин.

Наряду с лабораторными исследованиями свойств, сталь марки АК-25 прошла испытания в составе опытных (натурной величины) отсеков прочного корпуса проектируемой АПЛ, а также док-камеры, где они размещались. Отсеки для статических испытаний и док-камеру (она была рассчитана на давление до 70 кгс/см^2) по чертежам СКБ-143 изготовил завод № 194, а отсеки для динамических испытаний – завод № 444. Поставку листовой стали производил Ждановский завод им. Ильича, а профильной – завод “Азовсталь”. При изготовлении опытных отсеков была отработана технология корпусных работ из стали новой марки, уточнена технология термической обработки шпангоутов, а при испытании отсеков установлена необходимость приварки шпангоутов к обшивке прочного корпуса по всему периметру, а также подкрепления прочного корпуса в районе входных люков. Испытания являлись составной частью комплекса работ по изучению поведения разработанной стали в условиях воздействия на прочный корпус АПЛ гидростатического давления и динамических нагрузок, по проверке применимости и уточнению существовавших методов расчета прочности корпусных

конструкций. Эти работы осуществлялись ЦНИИ-45 по заданию и с участием СКБ-143. Кроме испытаний опытных отсеков, они включали:

- теоретические и экспериментальные исследования прочности натуральных корпусных конструкций;

- уточнение значений поправочных коэффициентов в формулах определения критического давления для обшивки и шпангоутов прочного корпуса применительно к предусмотренным в проекте АПЛ размерам последних;

- разработку методики расчета сотрясений и прочности корпуса при воздействии динамических нагрузок (подводные взрывы глубинных бомб);

- исследования вибраций и прочности корпусных конструкций при работе гребных винтов;

- определение исходных данных по параметрам сотрясений и вибраций для разработки и расчетов амортизирующих устройств агрегатов и механизмов АПЛ и их креплений к фундаментам.

В результате проведенных исследований и испытаний сталь марки АК-25 была принята для изготовления прочного корпуса АПЛ.

Электро- и радиоэлектронное оборудование. С началом эскизного проектирования в специализированных НИИ и КБ развернулись работы по новым видам электро- и радиоэлектронного оборудования ПЛ. Разрабатывались проекты электрогенераторов (навешенного на ГТЗА и с приводом от дизеля), электродвигателей насосов ЯЭУ и корабля, а также радиолокационных станций “Призма”, антенного устройства и станции “Факел-МО”, стабилизаторов положения корабля по ходу “Кедр-1” и без хода – “Кедр-2”, по курсу – “Стрела”. Создавались навигационный комплекс “Плутон”, автопрокладчик “Терек”, системы управления стрельбой “Тантал” и “Торий”, устройства гидроакустического комплекса, включающего гидроакустическую станцию “Арктика”, шумопеленгаторную станцию “Марс”, ультразвуковой прожектор “Луч”, станцию гидроакустической разведки “Свет”, эхолоты для измерения больших глубин и определения наличия льда.

Торпедное вооружение. При разработке эскизного проекта весьма сложным оказался поиск технических решений по торпедо калибра 1550 мм, длиной около 23 м и весом 40 т, по обеспечению ее погрузки, хранения на корабле и выстреливания. Принудительное выбрасывание торпеды требовало создания мощной установки со значительными массогабаритными характеристиками, что вело к существенному росту водоизмещения АПЛ. Более простым вариантом представлялся способ самовыхода торпеды. Однако условия безопасного выхода торпеды при возможных скоростях ее движения относительно торпедного аппарата приводили к необходимости обеспечения почти нулевой плавучести торпеды, что требовало увеличения ее диаметра или длины. При этом также возникали проблемы, связанные с существенным усложнением системы управления движением торпеды. Все это вынуждало организовывать и проводить обширные теоретические и экспериментальные исследования, в том числе с использованием в качестве моделей традиционных торпед калибра 533 мм.

Обитаемость. Особого внимания при разработке проекта потребовали вопросы обеспечения жизнедеятельности экипажа АПЛ. Во-первых, впервые предстояло создать на десятки суток комфортные условия пребывания людей внутри не имеющего связи с атмосферой корабля с ограниченным внутренним объемом при практически постоянном

поступлении в этот объем большого количества тепла от агрегатов и механизмов энергоустановки, электросистем, радиоэлектронных средств и другого оборудования. Во-вторых, также впервые надо было обезопасить личный состав от воздействия радиационных факторов, определяемых наличием на подводной лодке ядерной энергетической установки.

Ведущей организацией в проведении комплекса исследований и опытных работ по созданию и поддержанию необходимых температурно-влажностных режимов на борту АПЛ стал ГИПХ. Им же осуществлялась разработка регенеративных установок и регенерирующих веществ для обеспечения необходимого соотношения кислорода и углекислого газа в отсеках корабля. Московский завод “Компрессор” создавал мощные пароэжекторные холодильные машины, Николаевское ЭМП – кондиционеры и вентиляторы, Электростальский НИТИ – фильтры для очистки воздуха. Проверка условий обитаемости была осуществлена в специально переоборудованной ПЛ “Народоволец”, где небольшая команда добровольцев находилась в практически полной изоляции (имелась только телефонная связь с берегом) в течение 50 сут.

Задачи обеспечения радиационной безопасности личного состава АПЛ решались как в ходе конструкторско-технологических и расчетно-экспериментальных исследований, выполнявшихся в НИИ-8 и ЛИП АН СССР при проектировании реакторной установки и связанных с разработкой эффективной биологической защиты, комплекса мер по герметизации контуров установки с радиоактивными теплоносителями, локализации потенциально “опасных” объемов реакторного отсека и др., так и при создании в СНИИП корабельной системы дозиметрии для контроля за мощностями доз излучения в отсеках АПЛ, за концентрациями в них радиоактивных газов и аэрозолей, за радиоактивными загрязнениями поверхностей помещений, оборудования, спецодежды и кожных покровов.

Шумность. Использование на АПЛ ядерной паропроизводящей и паротурбинной установок с многочисленными обеспечивающими их работу механизмами, создающими высокие уровни шума, привело к необходимости разработки комплекса мероприятий, направленных на снижение шумности корабля. Основополагающими для них стали выполненные в ЦНИИ-45 исследования шумов механизмов и путей их уменьшения, опытно-конструкторские работы по виброизолирующим конструкциям и устройствам для механизмов и трубопроводов, а также вибропоглощающему и противогидролокационному покрытиям. Исследования дали возможность впервые сформулировать требования к разработчикам корабельных механизмов по уровням его воздушного шума. Результатами опытно-конструкторских работ стали, в частности, виброизолирующие амортизаторы типа АКСС – для установки на них вспомогательного оборудования; гибкие патрубки ПРМК – для размещения их между насосами и трубопроводами; вибропоглощающее резиновое покрытие – для нанесения на фундаменты механизмов; звукопоглощающее покрытие – для нанесения на корпус корабля в районах расположения наиболее шумных механизмов.

Эскизный проект АПЛ в полном объеме был завершен в октябре 1953 г. Полученные в эскизном проекте основные характеристики атомной подводной лодки в сравнении с тактико-техническим заданием на ее проектирование приведены в табл. 3.

Характеристика	По ТТЗ	По эскизному проекту
Водоизмещение нормальное, м ³	2650	2900
Глубина погружения, м	250-300	275-300
Скорость полная подводная, уз		
- ход под дизель-генераторами	6-8	8
- ход под ГТЗА	24-25	24-25
Непрерывность подводного хода, ч	1200-1500	1500
Автономность, сут	50-60	60
Экипаж, чел.	70	75

Из табл.3 видно, что требования ТТЗ не выполнены по водоизмещению и численности личного состава. Превышение заданного водоизмещения было вызвано главным образом «перевесом» ПТУ на 85 т, системы кондиционирования – на 15 т, гребных винтов – на 1,4 т, увеличением массы легкого корпуса на 23 т, запаса водоизмещения – на 23 т (при уменьшении массы твердого балласта на 19 т), а в сумме – на 121,9 т. В итоге водоизмещение корабля увеличилось на 200 м³. При обсуждении результатов разработки эскизного проекта на секции № 8 НТС Минсредмаша увеличение водоизмещения было признано обоснованным. Аналогичное мнение было высказано и членами экспертной комиссии, рассматривавшей материалы эскизного проекта и состоявшей из опытных специалистов ведущих институтов и конструкторских бюро судостроительной промышленности. В итоговом документе комиссии, утвержденном руководством ведомства, отмечалось, что объем и научно-техническое обоснование проекта обеспечивают возможность реализации заданных к АПЛ основных требований. СКБ-143 предлагалось начать разработку (с учетом замечаний комиссии) технического проекта подводной лодки, не ожидая утверждения эскизного проекта правительством.

К работам по техническому проекту СКБ-143 приступило с ноября 1953 г. Они велись на основе откорректированного по результатам выполнения эскизного проекта ТТЗ, утвержденного Советом Министров СССР 21 декабря того же года. Процессы проектирования и проведения сопровождающих его научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ находились, как и на предыдущем этапе, под постоянным контролем правительственных органов, причем особое внимание обращалось на необходимость выполнения требований ТТЗ в части водоизмещения АПЛ.

Вместе с тем, как уже отмечалось, в процессе разработки технического проекта ППУ была обоснована необходимость введения в состав ее первого контура вспомогательного циркуляционного насоса и системы очистки теплоносителя. С другой стороны, разработка технического проекта корабля выявила, что реализация мер по снижению шумности насосов и вентиляторов, расположенных в турбинном отсеке, требует увеличения их размеров. Кроме того, в отсеке необходимо также разместить дополнительные амортизационные патрубки на циркуляционных трассах главного конденсатора, дополнительные конструкции для уменьшения смещений осей турбин при изменении глубины погружения лодки, дополнительные зубчатые муфты на входных валах редукторов и упорно-опорные подшипники перед редукторами. В совокупности все это повысило массу ЯЭУ и удлинит корабль на 3 шпации, т.е. на

1800 мм, что повлекло за собой увеличение водоизмещения АПЛ на $\sim 90 \text{ м}^3$ и диаметра цилиндрической части ее прочного корпуса до 6800 мм. Все отступления от ТТЗ в обязательном порядке рассматривались и санкционировались секцией № 8 НТС МСМ.

Упомянутые выше конструкции, обеспечивавшие требуемую центровку осей турбины и редуктора ГТЗА в условиях нарастающего обжатия прочного корпуса АПЛ при ее погружении, стали результатом решения трудной технической задачи. Еще в период предэскизного проектирования рассматривался вариант установки ГТЗА на общей раме, но в связи с существенным увеличением размеров прочного корпуса и водоизмещения корабля был позднее отвергнут. Предполагалось, что установка соединительно-разобширительной муфты с резиновыми вкладышами между турбиной и редуктором компенсирует возможные расцентровки их валов вплоть до максимальной глубины погружения АПЛ. В дальнейшем проектанты ГТЗА была установлена допустимая величина расцентровки — не более 1 мм. Выполнение столь жесткого требования с учетом возросшей более чем в 2 раза деформативностью прочного корпуса, по сравнению с построенными дизель-электрическими ПЛ, осложнялось еще и тем, что главная турбина и редуктор имели различные по конструкции фундаменты. К тому же турбину предусматривалось установить непосредственно на своем фундаменте, а редукторную передачу — с помощью амортизаторов. В результате интенсивных исследований и конструкторских проработок с привлечением ЦНИИ-45 и института «Проектстальконструкция» было предложено несколько вариантов корпусных конструкций. По результатам их анализа был принят вариант с системой наружных усиленных шпангоутов в районе крепления главных механизмов ПТУ. В этом варианте не требовались большой объем работ по перекомпоновке оборудования внутри отсека и увеличение водоизмещения. Вместе с тем размещение на прочном корпусе усиленных шпангоутов позволяло значительно уменьшить его деформации в районах расположения главных механизмов ПТУ и тем самым снизить величины смещений мест крепления этих механизмов. Последующие замеры перемещений фундаментов при глубоководных испытаниях опытной АПЛ, а также при гидравлических испытаниях прочных корпусов двух серийных лодок показали хорошую сходимость результатов теоретического расчета и экспериментальных данных.

В процессе разработки технического проекта корабля имели место и осложнения, связанные с нарушениями разработчиками оборудования директивных сроков окончания этапов работ. Поэтому при проектировании приходилось пользоваться полученными от них предварительными данными. Последующие уточнения разработчиками характеристик оборудования и систем приводили к необходимости внесения изменений в принятые (по предварительным данным) проектанты корабля технические решения, причем, как правило, эти уточнения сопровождалось увеличением масс против указанных в технических заданиях. Поскольку компенсировать допущенные перевесы не представлялось возможным, водоизмещение корабля возрастало и достигло 3180 м^3 . В связи с тем, что эта величина существенно выходила за пределы, установленные по результатам эскизного проекта, бригаде специалистов родственного КБ было поручено провести контрольную проверку весовой нагрузки корабля, полученную в техническом проекте. Результаты работы бригады, подтвердившей данные СКБ-143, а также предложившей возможные пути уменьшения водоизмещения, рассматривались в СКБ-143 в апреле 1954 г. Был принят комплекс мер для сокращения водоизмещения до $\sim 3030 \text{ м}^3$. Он

предусматривал исключение системы стабилизации корабля без хода («Кедр-2»), сокращение количества баллонов воздуха высокого давления, отказ от системы продувания балластных цистерн воздухом низкого давления, замену относительно тяжелых дизелей марки 8ЧН на более легкие дизели марки М50П, отказ от цистерны быстрого погружения и от устройства РДП, сокращение запасов топлива и масла, ограничение допуска по толщине листов обшивки прочного корпуса при расчете его прочности и др. Кроме того, в техническом проекте было получено уменьшение массы покрытия на 11 т, дифферентовочной воды — на 7 т, рулевых приводов и гребных винтов — на 5 т, переборок прочного корпуса — на 7 т по сравнению с данными эскизного проекта.

Разработка технического проекта корабля (его продольный разрез представлен на рис. 9) завершилась в начале июня 1954 г. На рассмотрение Министерства судостроительной промышленности СССР материалы технического проекта в полном объеме были представлены 12 июня 1954 г.

В результате разработки технического проекта с учетом предложенных мероприятий по уменьшению водоизмещения были получены приведенные в табл. 4 характеристики корабля (в сравнении с данными ТТЗ):

Таблица 4

Характеристика	По ТТЗ	По техпроекту
Водоизмещение нормальное, м ³	2950	3050
Глубина погружения, м	250-300	300
Скорость полная подводная, уз		
– ход под дизель-генераторами	6-8	7-8
– ход под ГТЗА	22-25	24-24,5
Мощность ГТЗА, л.с.	2×17500	2×16900
Автономность, сут	50-60	50-60
Экипаж, чел.	70	76

Снижение мощности ГТЗА на 600 л.с. на каждом валу было вызвано тем, что проектант агрегата в процессе его разработки изменил проточную часть турбины для повышения ее надежности, что привело к некоторому увеличению удельного расхода пара. В связи со снижением мощности ГТЗА, а также принятием 2 % запаса на точность показания торсиометра расчетная полная подводная скорость уменьшилась до 24,5 уз.

Рассматривала материалы технического проекта, как и ранее эскизного, в СКБ-143 специальная комиссия во главе с руководителями 5-го Главного управления МСП. В составе секций комиссии теперь участвовали и представители завода-строителя АПЛ. По итогам обсуждения было отмечено, что замечания и предложения по эскизному проекту в основном учтены проектантами АПЛ в техническом проекте, за исключением тех, проработка которых показала нецелесообразность их реализации. Затем технический проект был рассмотрен и одобрен научно-техническим советом Министерства судостроительной промышленности.

18 октября 1954 г. МСМ и МСП СССР представили правительству предложения об утверждении технического проекта. Последовало поручение Министерству обороны

(ВМФ) рассмотреть основные положения технического проекта подводной лодки и подготовить свое заключение совместно с Министерством среднего машиностроения и Министерством оборонной промышленности .

Однако еще раньше, в конце июля 1954 г., с материалами технического проекта АПЛ в СКБ-143, а также с работами организаций-соисполнителей по ППУ, ПТУ, вооружению, радиоэлектронному оборудованию ознакомилась экспертная группа ВМФ, назначенная решением Главкомандующего ВМФ Н.Г. Кузнецова и первого заместителя министра среднего машиностроения Б.Л. Ванникова. В своем заключении эксперты отметили необоснованность выбора состава вооружения подводной лодки, исходя из состояния средств и систем противолодочной обороны вероятного противника, и предложили этот вопрос рассмотреть дополнительно. Проектная подводная скорость 24-25 узлов была сочтена недостаточной, имея в виду потенциальные возможности создаваемых за рубежом средств борьбы с подводными лодками. Вместе с тем, учитывая важность решаемых при создании первой отечественной АПЛ проблем для развития атомного флота, группа признала необходимым форсировать постройку и испытания опытной подводной лодки с учетом замечаний и предложений экспертов ВМФ. Принимая во внимание продолжительность разработки, группа предложила также немедленно приступить к проектированию боевой подводной лодки по ТТЗ и под наблюдением ВМФ на основе технических решений по АПЛ проекта 627. По материалам экспертизы министрами среднего машиностроения и судостроительной промышленности В.А. Малышевым и И.И. Носенко совместно с Главкомандующим ВМФ Н.Г. Кузнецовым было принято решение, в соответствии с которым часть замечаний экспертов принималась к исполнению в проекте, а по остальным замечаниям поручалось выполнить конструкторские проработки с проведением в необходимых случаях соответствующих НИОКР. В частности, предписывалось определить и обосновать возможность создания торпед с самонаведением в целях борьбы с кораблями противолодочной обороны вероятного противника.

На основании предложений ВМФ, поддержанных постановлением правительства от 26 марта 1955 г., на опытной АПЛ в качестве оружия были приняты торпеды калибра 533 мм, а большая торпеда исключалась. Было определено новое назначение подводной лодки: «...для нанесения торпедных ударов по боевым кораблям и транспортам противника при действиях на океанских и удаленных морских путях сообщения». Этим же постановлением МСП обязывалось откорректировать технический проект АПЛ пр. 627 и представить его на утверждение Совета Министров СССР. Возглавить дальнейшие работы в части, касающейся Министерства обороны, было поручено заместителю Главкома ВМФ по кораблестроению и вооружению Н.В. Исаченкову. Под его руководством должен был работать и созданный в ВМФ в июле 1954 г. специальный контрольно-приемный аппарат, а также проходить обучение личный состав подводной лодки.

В связи с изменением вооружения подводной лодки проекты ее носовых отсеков потребовали большой корректировки. Вместо одного торпедного аппарата калибра 1550 мм и двух аппаратов калибра 533 мм на подводной лодке разместили восемь аппаратов калибра 533 мм в два ряда по вертикали и 12 запасных торпед с устройствами для их погрузки, хранения и перезарядки. Корректировка технического проекта подводной лодки (ее продольный разрез представлен на рис.10) была закончена в июле 1955 г.

Технический проект первой отечественной АПЛ, при разработке которой был учтен многолетний опыт создания дизель-электрических подводных лодок и использованы последние на то время достижения науки и техники, свидетельствовал о том, что АПЛ пр. 627 представляет собой новый тип подводного корабля. Заявленные в проекте характеристики определялись, в первую очередь, принципиально другой, ядерной энергетикой невиданной доселе мощности, а также совокупностью большого числа новых технических решений, предложенных разработчиками АПЛ, ее оборудования и систем. Они касались, в частности, конструкций и материалов корпуса подводной лодки, размещения и компоновки отсеков, способов крепления в них оборудования, построения и функционирования систем электрообеспечения, радиоэлектроники, кондиционирования и вентиляции. К ним надо добавить впервые предусмотренные на данной АПЛ устройство для компенсации магнитного поля (размагничивания) лодки, систему зарядки аккумуляторной батареи в подводном положении без связи с атмосферой, расширенный диапазон работы системы управления торпедной стрельбой, возможность стрельбы торпедами с глубины 100 м и 8-торпедного залпа, штурманское вооружение для АПЛ с большими районами плавания, обеспечивающее также маневрирование лодки на больших скоростях хода и др. Все это позволяло рассчитывать на качественное изменение сложившихся представлений о роли и возможностях подводных лодок.

Как и выполнение предыдущих этапов проектирования АПЛ, разработка рабочих чертежей проходила в достаточно сложных условиях. В целях ускорения работ по подготовке производства на заводе № 402 к строительству корабля Министерством судостроительной промышленности СССР было дано указание СКБ-143 о выпуске рабочих чертежей, не ожидая не только утверждения, но и завершения технического проекта. Выпуск их был начат в апреле 1954 г., что позволило до окончания технического проекта отправить заводу-строителю рабочие чертежи секций прочного корпуса и поперечных переборок, а также таблицу ординат теоретического чертежа. Необходимо отметить также, что разработка рабочих чертежей, как и другой проектной документации, со второй половины 1954 г. осуществлялась под наблюдением уполномоченных Главного управления кораблестроения ВМФ. К концу 1954 г. завод уже располагал основной массой — 5500 из намеченных к выпуску 7400 чертежей. Полный объем чертежей был представлен заводу в срок по утвержденному графику в июне 1955 г.

Еще в начале выпуска чертежей СКБ-143 командировало на завод конструкторов для участия в разбивке плаза и составлении плазовой таблицы ординат. С августа 1954 г. началось регулярное посещение завода специалистами бюро для решения вопросов, возникавших при проработке проектной документации службами завода и изготовлении корпусных конструкций, а с марта 1955 г. на заводе начала действовать постоянная группа конструкторов различных специальностей.

Напомним, что в период развертывания работ по постройке подводной лодки на многих предприятиях страны началось изготовление оборудования для нее, выполнялась корректировка технического проекта и одновременно вносились изменения в ранее выпущенные чертежи или разрабатывалась новая документация, связанная с изменением состава вооружения. В частности, значительной переработки потребовали чертежи носовой оконечности прочного корпуса, включая носовую концевую переборку, а также чертежи расположения оборудования и корпусных конструкций в I и II отсеках. Вместе с тем, заводом до получения измененных чертежей были уже изготовлены некоторые

конструкции, в том числе обечайки носовой части прочного корпуса. В этой сложной, необычной последовательности этапов проектирования и строительства, благодаря творческому подходу разработчиков, удавалось максимально использовать заделы.

Корректировка рабочих чертежей по кораблю завершилась в июле 1955 г. одновременно с окончанием работ по внесению изменений в технический проект.

2.2. Изготовление оборудования, строительство, испытания АПЛ

В основополагающем постановлении СМ СССР от 9 сентября 1952 г. о создании АПЛ, кроме разработчиков ее проекта и проектов составных частей корабля, уже была определена первая группа изготовителей комплектующего оборудования - паровых турбин, электрооборудования, насосов, вентиляторов и др. Последующими постановлениями правительства круг организаций-контрагентов был существенно расширен. Всего к проектированию, изготовлению оборудования и систем корабля, его строительству было привлечено 135 организаций, в том числе 20 конструкторских бюро, 35 научно-исследовательских институтов, 80 заводов различных отраслей отечественной промышленности.

Выбор завода № 402 Министерства судостроительной промышленности (ныне - Севмашпредприятие) для строительства первой АПЛ был не случайным. Сравнительно молодой завод обладал современным производственным оборудованием, прогрессивными технологическими процессами, кадрами, уже получившими значительный опыт создания кораблей, в том числе дизель-электрических подводных лодок. В 1954 г. на предприятии трудились более 16 тыс. человек, в том числе около 11 тыс. рабочих и 2500 инженерно-технических работников. Завод располагал оборудованным полигоном для испытаний построенных кораблей во «внутреннем» Белом море с удобным выходом в просторы Мирового океана.

Цехом-строителем АПЛ был определен (в том числе и в интересах обеспечения режима секретности) расположенный на тогдашней окраине завода недостроенный с довоенных времен цех № 42. Переоборудование цеха (ранее он предназначался для изготовления орудийных башен надводных кораблей), т.е. превращение его в элинг с жесткой стальной палубой, с наклонными слипами для спуска лодки боковым способом, строительством необходимых гидротехнических и ряда вспомогательных сооружений, в том числе связанных с необходимостью проведения радиационного контроля, осуществлялось одновременно с развертыванием работ по строительству АПЛ на заводе. Поэтому первые секции корпуса лодки и необходимая оснастка начали изготавливаться в поперечном пролете механического цеха № 8, где было демонтировано оборудование участка по изготовлению паровых котлов.

Одновременно с началом формирования цеха № 42 создается служба строителей АПЛ во главе с В.И. Вашанцевым, в которой сосредотачиваются все нити управления процессом постройки, координация усилий специалистов завода и предприятий-контрагентов — от обеспечения производства конструкторской и технологической документацией, распределения работ по цехам и участкам, до контроля за получением от поставщиков материалов и комплектующего оборудования. Учитывая необычный характер предстоящих работ по строительству АПЛ, на заводе создается также специальное конструкторско-технологическое бюро (СКТБ) во главе с В.Н. Козловым. СКТБ было

призвано осуществлять проработку (адаптирование) конструкторской документации, поступавшей из различных организаций страны, усовершенствование имевшихся и разработку новых технологий для изготовления корпуса корабля, монтажа систем, механизмов, приборов, в том числе первых технологий, связанных с размещением на корабле ЯЭУ и биологической защиты. В задачи СКТБ входили также разработка документации для изготовления технологической оснастки, необходимой в процессе проведения корпусных сварочных и монтажно-механических работ, а также организация подготовки рабочих по новым для кораблестроения специальностям.

Общее руководство работами по переоборудованию и достройке цеха № 42, по организации производства в других цехах в обеспечение постройки АПЛ (она получила заводской № 254), по ее строительству осуществляли директор завода Е.П. Егоров и главный инженер В.И. Дубовиченко. С началом строительства лодки вступили в работу и офицеры возглавляемого М.И. Коломийцем и Н.М. Лазаревым контрольно-приемочного аппарата Главного управления кораблестроения ВМФ.

В середине 1954 г. по поступившим из СКБ-143 первым чертежам начинается изготовление деталей корпуса АПЛ в заготовительных цехах завода. Необходимо отметить, что делалось это фактически не по чертежам, имевшим гриф секретности, а по срочно выпускавшимся эскизам, где указывались только размеры данной детали и порядок выполнения технологических операций. Детали, после приемки их ОТК, упаковывались и ночью, укрытые брезентом, на ж/д платформе перемещались к цеху № 8, где собирались первые секции корпуса корабля и куда платформа закатывалась вручную только допущенными к работам людьми. Изготовление деталей не по чертежам, а по эскизам, предпринятое для ограничения широкого и неконтролируемого доступа к конструкторской документации, вообще говоря, отрицательно сказывалось на качестве выполняемых работ. Так, проектантом корабля для шпангоутов прочного корпуса АПЛ впервые были применены балки двутаврового сечения. Диаметры нескольких изготовленных кольцевых шпангоутов оказались по диаметру на 2-5 мм меньше заданных по чертежу. Разработчикам эскизов и технологических операций только с помощью руководителей СКБ-143 удалось решить вопрос об использовании этих шпангоутов. Подобного рода факты побудили снять гриф секретности с большей части корпусных чертежей.

Одной из составляющих большого объема работ по строительству АПЛ на первом его этапе было изготовление оснастки, необходимой для качественного изготовления секций корабля: «постелей» и кантователей для сборки и сварки конструкций легкого корпуса и поперечных переборок. По инициативе заводских конструкторов и технологов для этой цели были использованы днищевые секции утилизированного в то время тяжелого крейсера «Сталинград». На сданных строителями производственных площадях цеха № 42 интенсивно изготавливалась оснастка для стапель-поезда: поперечные балки, подкильные тумбы, спусковые тележки и другие конструкции. Механические и металлургические цехи завода выпускали необходимую для корабля номенклатуру изделий насыщения его корпуса, крепежа, захлопок и клапанов цистерны главного балласта, переборочных и дейдвудных сальников, фундаментных конструкций, многочисленной «скобянки» и т.п. Работы на АПЛ (во всех других цехах завода, кроме 42-го, они маскировались под заказы иного назначения) велись круглосуточно, возникавшие в процессе изготовления вопросы оперативно разрешались с помощью

заводских конструкторов и технологов и постоянно действующей бригады сотрудников СКБ-143. Общий напряженный труд позволил к середине 1955 г. изготовить основные конструкции корпуса лодки и подготовить их к перевозке на стапель цеха № 42.

Торжественная закладка первой АПЛ состоялась 24 сентября 1955 г. На ней присутствовали министры судостроительной промышленности и среднего машиностроения Б.Е. Бутома и Е.П. Славский, Главнокомандующий ВМФ С.Г. Горшков, научный руководитель А.П. Александров, главный конструктор В.Н. Перегудов, руководство завода. Закладка началась со стыковки секций среднего блока (5-6-й отсеки) прочного корпуса корабля. Сварка обечаек секций производилась одновременно с двух сторон — «дуга в дугу» — лучшими сварщиками.

В ноябре 1955 г. корпус АПЛ был полностью сформирован, а в конце года предъявлен представительной межведомственной комиссии для проведения гидравлических испытаний. Комиссия проверила качество изготовления конструкций прочного корпуса, результаты γ -графирования его сварных швов. Под руководством комиссии при гидроиспытаниях были также выполнены замеры напряжений в металле корпуса с помощью установленных в наиболее нагруженных местах его конструкции тензометрических датчиков. В целом проведенные по согласованной заинтересованными организациями программе гидравлические испытания прочного корпуса показали соответствие значений замеренных и расчетных напряжений при заданных глубинах погружения корабля. Отрицательные результаты были получены только по съемным листам корпуса, крепление которых по традиции было выполнено на заклепках, что не обеспечивало герметичности. По рекомендациям комиссии проектант корабля в последующем ввел в конструкцию сварку съемных листов. Кроме того, в наиболее напряженных местах корпуса были предусмотрены дополнительные подкрепления. По завершении гидравлических испытаний открылся широкий фронт работ монтажникам, сборщикам, электромонтажникам, изолировщикам. В то же время создались условия для формирования легкого корпуса лодки, цистерн главного балласта и др., для впервые выполнявшихся на заводе работ по нанесению противогидролокационного покрытия на легкий корпус.

Строительство АПЛ и изготовление комплектующего оборудования постоянно контролировались руководством Министерства судостроительной промышленности. Коллегия Министерства заслушивала руководителей предприятий-поставщиков, определяла сроки выполнения ими необходимых работ. Результаты заседаний коллегии оформлялись приказами Министра. Так, 26.03.1955 г. коллегия рассматривала ход выпуска рабочей документации по кораблю и создания оборудования для него, в частности изготовления парогенераторов реакторной установки. В мае того же года коллегия обсуждала вопросы обоснованности выбора марок сталей для поковок и отливок изделий внутрикорпусного насыщения, и приказом Министра от 31 мая были намечены сроки запуска их в производство, а также определены ответственные исполнители работ. На заседании коллегии 01.12.1955 г. рассматривался ход строительства АПЛ. Техническая готовность корабля в это время составляла 38,4 %, а поступление оборудования - 7 % запланированного к поставке в III и IV кварталах 1955 г. Особое беспокойство вызывало отставание в сроках изготовления парогенераторов Балтийским заводом и арматуры ППУ заводом «Знамя труда». Также отставали по срокам поставки выдвижные устройства

и торпедные аппараты (завод «Красное Сормово»), водоопреснительные установки (Тамбовский завод «Комсомолец»).

В апреле 1957 г. техническая готовность АПЛ составляла уже 72,8 % при почти полной готовности 1-го, 2-го, 3-го, 4-го, 8-го и 9-го отсеков. В 6-м и 7-м отсеках работы по их насыщению начались только в марте 1957 г. с поступлением на завод № 402 основного оборудования ПТУ с Кировского завода и завода «Электросила». Готовность же пятого - реакторного - отсека на тот период была всего 42 % из-за отставания в сроках поставки наиболее крупного и сложного оборудования ППУ. Причины этого отставания — в трудностях освоения промышленностью изготовления принципиально новой техники, нетрадиционных конструкционных материалов и технологических процессов, в отсутствии опыта выпуска изделий с повышенными требованиями разработчиков к их качеству. Наряду с этими проблемами, многие предприятия объясняли задержку поставок большой загрузкой их другими плановыми заказами. Учитывая это, директор завода Е.П. Егоров в апреле 1957 г. обращается с письмом к Председателю СМ СССР Н.С. Хрущеву по поводу срыва сроков поставок материалов и оборудования для постройки первого и последующих кораблей с ядерной энергетикой. Результатом стало правительственное постановление, которым руководителям соответствующих ведомств и предприятий предписывалось рассматривать и удовлетворять в первоочередном порядке все запросы и обращения завода № 402 о поставках материалов и комплектующего оборудования для АПЛ. На самом заводе ежедневно подводились итоги проделанного с участием строителей корабля, начальников участков и служб, руководителей СКТБ и ОТК, военной приемки, представителей предприятий-контрагентов. Результаты докладывались дирекции завода и руководству МСП. С его помощью в необходимых случаях оперативно подключались предприятия Минсудпрома, заводы и организации других ведомств. Большую помощь при строительстве АПЛ и монтаже ее оборудования, особенно в отсеках ППУ и ПТУ, оказывали уже упоминавшаяся бригада проектантов корабля, которой попеременно руководили Б.К. Разлетов, П.Д. Дегтярев, Г.А. Воронич, В.П. Горячев, начавшая с ноября 1956 г. работать на заводе группа представителей главного конструктора ЯЭУ во главе с П.А. Деленсом и Б.П. Папковским, прибывавшие в Северодвинск по мере поступления оборудования конструкторская группа, а также шеф-монтажная бригада завода № 92, руководимые Ю.Н. Кошкиным и А.М. Кузьминым, бригады авторского надзора и шеф-монтажа Кировского и Балтийского заводов, сотрудники других организаций-разработчиков и предприятий-изготовителей. Во взаимодействии со специалистами служб завода, СКТБ, мастерами цеха, работниками ОТК и офицерами КПА они не только оперативно решали возникавшие технические и организационные вопросы, но при необходимости и непосредственно участвовали в работах.

К августу 1957 г. все крупногабаритное оборудование было смонтировано и в реакторном отсеке, оставались еще весьма трудоемкие, требовавшие особого внимания и тщательности операции по монтажу, сварке и контролю трубопроводов ППУ. И хотя заводом-строителем загодя была организована подготовка сварщиков-«нержавейщиков», специалистов по контролю сварных швов, сказывалось отсутствие опыта выполнения таких работ, шли они медленно. В этих условиях было признано целесообразным спустить корабль на воду и проводить пусконаладочные работы, а затем и швартовные испытания всего, кроме реакторных установок, оборудования АПЛ и прежде всего ПТУ и

электроэнергетической системы с подачей электропитания и пара от постороннего источника. Вывод корабля из цеха № 42 приказом директора завода был назначен на 7 августа 1957 г.

К этому важному событию на завод прибыла большая группа высоких гостей во главе с заместителем председателя СМ СССР Д.Ф. Устиновым. Погода отнюдь не способствовала праздничному настроению: на Белом море разыгрался неожиданный для летнего времени шторм, налетали сильные порывы дождя и снега. Тем не менее, в назначенный день вывод АПЛ из цеха начался. 8 августа, несмотря на продолжавшийся дождь и ветер, была произведена пересадка корабля на поперечные спусковые тележки, а 9 августа он с их помощью боком спускается на воду. Разбивается, правда, с большим трудом, поскольку легкий корпус обрешечен, традиционная бутылка шампанского, на находящейся на воде первой отечественной АПЛ поднимается государственный флаг страны. Корабль буксирами отводится к цеховой набережной, оборудованной постом дозиметрического контроля, только через который теперь можно попасть на лодку. С другого борта швартуются лидер «Баку» и сторожевой корабль «Леопард», с носа - плавучий кран, с кормы - плавбаза «Полярный», на которой размещается сдаточная команда и другой персонал.

В сдаточную команду (ее возглавлял ответственный сдатчик Н.Н. Довгань) вошли квалифицированные специалисты, прошедшие школу наладки оборудования на надводных и подводных кораблях. К сожалению, не были должным образом подготовлены заводские инженеры управления ЯЭУ, и с февраля 1958 г. после анализа причин аварии на ПТУ (о ней будет рассказано ниже), в качестве операторов на пульте управления энергоустановкой вахты несли офицеры-управленцы из первого и второго экипажей АПЛ, подготовленные в учебном центре ВМФ в г. Обнинске. В дальнейшем руководство завода исправило эту оплошность, направив в учебный центр несколько групп молодых инженеров.

С подачей на корабль электропитания начались проверки работы различного оборудования: электронасосов, системы гидравлики, компрессоров и арматуры воздуха высокого давления, выдвижных устройств и др. Работы шли круглосуточно по графику, постоянно контролируемому ответственным сдатчиком. Для быстрейшего решения возникавших вопросов привлекались представители организаций-разработчиков корабля, систем и оборудования, а также заводов-изготовителей. По результатам наладок и проверок ьенпреды оформляли приемку систем и оборудования радиосвязи, локации, акустики, навигационного комплекса, аккумуляторной батареи, генераторов и т.п.

К середине сентября 1957 г. готовность оборудования ППУ обоих бортов позволила произвести загрузку в сухие реакторы ядерного топлива. Эта первая на заводе потенциально опасная работа проводилась 13-14 сентября. Над съемными листами реакторного отсека было сооружено временное укрытие от непогоды в виде домика с подъемной двухскатной крышей. Началом работы послужила приемка старшим военным представителем Н.М. Лазаревым геометрии и целостности технологических каналов реактора, стержней аварийной защиты и автоматического регулирования. Было проверено функционирование исполнительных механизмов компенсирующих решеток, стержней АР и АЗ. Загрузка каналов и стержней в ячейки экранных сборок реакторов осуществлялась по картограммам при постоянном контроле физических параметров активных зон и радиационной безопасности. Затем под тем же тщательным контролем

были осуществлены заполнение реакторов водой высокой чистоты и вывод их в критическое состояние, т.е. физические пуски обоих аппаратов. Руководил всеми операциями А.П. Александров, а выполняли их специалисты ИАЭ, НИИ-8, заводов №№ 402 и 92, офицеры военной приемки.

После физических пусков реакторов сборка и монтаж трубопроводов и биологической защиты в 5-м отсеке, а также пусконаладочные работы на АПЛ и приемка ее систем и оборудования военными представителями продолжились, плавно переходя в швартовные испытания. Целью этих испытаний для опытного корабля, каким являлась АПЛ, была не только проверка работоспособности оборудования и подтверждение соответствия его характеристик проектным значениям, но и выявление слабых мест в принятых проектных решениях и в качестве реализации этих решений с тем, чтобы вовремя исправить недостатки и не повторить их на последующих кораблях. А такие слабые места, очевидно, были неизбежны в силу новизны большинства конструкций, отсутствия опыта их изготовления, монтажа и эксплуатации. И пусконаладка, и швартовные испытания ПТУ и ЭЭС, проводившиеся при подаче пара с корабля «Леопард» и продолжавшиеся до начала июня 1958 г., дали тому ряд примеров. В частности, была выявлена необходимость доработки схемы конденсатно-питательной системы и автоматики маневрового устройства ГТЗА. Другим примером является авария ПТУ, произошедшая на завершающем этапе ее испытаний (при частично отключенной защите турбины) во время проверки несложной системы очистки воздуха от паров масла, смазывающего подшипники ГТЗА, когда неожиданно перегорел предохранитель в цепи возбуждения одного из генераторов и прервалось электропитание. Остановились все, в том числе и масляные, насосы ПТУ. Поскольку вручную прекратить подачу пара на ГТЗА удалось только спустя несколько минут, из-за отсутствия смазки подплавились опорные подшипники продолжавших еще некоторое время вращаться роторов турбин и валов редукторов. Ремонт этих механизмов занял около полутора месяцев. Естественно, последовал ряд организационных выводов, а для предотвращения подобных аварий в состав оборудования турбинного отсека был включен резервный масляный насос, постоянно запитанный от аккумуляторной батареи. Несколько отказов обнаружилось и в общекорабельных системах. Так, были выявлены негерметичность трубных систем парожеткорных холодильных машин, недопустимый стук клапанов на напоре трюмных помп, несанкционированное открытие клапанов вентиляции ЦГБ и др. Весьма серьезным было эрозионное разрушение трубопроводов систем охлаждения забортной водой, выполненных из красной меди и нержавеющей сталей. В весьма короткие сроки были изготовлены трубы из ранее не применявшегося в судостроении сплава МНЖ-4-4-1, и заводские специалисты произвели замену трубопроводов забортной воды на плаву.

В период проведения швартовных, а затем и ходовых испытаний большое внимание уделялось проверке фактических значений шумовых характеристик корабельного оборудования и акустического поля АПЛ. Замеры производились сотрудниками акустической лаборатории ЦНИИ-45 и специалистами-акустиками завода. По результатам замеров осуществлялись частичная переделка трубопроводов, дополнительная регулировка, а в ряде случаев и замена амортизационных патрубков, индивидуальный подбор амортизаторов виброактивного оборудования.

В начале апреля 1958 г. завершились монтаж и сварка трубопроводов в реакторном отсеке, заполнение соответствующих систем водой высокой чистоты и газом, необходимые гидравлические испытания. Достаточно длительными и безуспешными

оказались попытки обеспечить абсолютную герметичность выгородок, разделявших необитаемые и обитаемые помещения отсека. В результате было решено допустить ЯЭУ к дальнейшим испытаниям с малыми протечками воздуха через выгородки. Этот недостаток, как оказалось впоследствии, повлек за собой только более частые включения в работу компрессоров вакуумирования и был устранен перед началом опытной эксплуатации АПЛ, когда производилась замена парогенераторов.

Если испытания атомной подводной лодки и всех, кроме энергетики, ее систем проводились в основном обычным, принятым в военном кораблестроении порядком, то цикл испытаний, которым должна была подвергнуться впервые созданная ядерная энергоустановка, имел свою организационную и техническую специфику. Она проявилась и в том, что были предварительно проведены уже упоминавшиеся выше испытания ПТУ при подаче пара от постороннего источника — испытания, призванные не только проверить ГТЗА, но уменьшить тем самым риск при совместной работе его с ППУ, и в том, какое значение придавалось испытаниям самой ППУ, как они были организованы и осуществлялись. Эта специфика — следствие принципиальной особенности реакторной техники — невозможности проверить работу конкретного, устанавливаемого на корабль (как и на любой другой транспортный объект) ядерного реактора заранее, до его полной сборки именно на корабле. Отсюда и определенный риск его первых испытаний, особенно выполняемых людьми также впервые. По тем же причинам не могли быть осуществлены и обычные для практики постройки кораблей с традиционной энергетикой проверки работы ППУ и ее приемка представителями КПА ГУК ВМФ. Они совмещались с заводскими испытаниями ЯЭУ, что позволяло также сэкономить материальные и трудовые затраты.

19 апреля 1958 г. под руководством А.П. Александрова с пульта ГЭУ офицерами-операторами первого экипажа АПЛ (их действия контролировались дежурными научными руководителями-сотрудниками ИАЭ Н.А.Лазуковым и Б.А. Буйницким) установка левого борта впервые выводится на мощность 18 % номинальной (на установке правого борта еще завершались наладочные работы). В процессе заводских испытаний на указанной мощности установка вполне устойчиво и надежно работала, что подтверждалось производившимися испытательной партией во главе с Р.И. Симоновым (СКБ-143) замерами теплотехнических параметров, характеристиками атмосферы и радиационной обстановки в отсеках, показателями качества теплоносителей и т.д. Вместе с тем проектантами, заводскими специалистами и представителями военной приемки были выявлены отдельные недостатки. Их устранение осуществлялось как на установке левого, так и правого бортов. Последняя была выведена на мощность 20 % номинальной 18 мая 1958 г.

Положительные результаты этих испытаний ЯЭУ позволили директору завода № 402 Е.П. Егорову 19 мая 1958 г. в присутствии прибывших на завод высоких должностных лиц во главе с Д.Ф. Устиновым предъявить установку межведомственной комиссии, специально образованной приказами Госкомитета по судостроению от 04.10.1957 г. № 00176 и от 10.05.1958 г. № 0089, для проведения комплексных швартовых испытаний. Комиссию возглавлял Н.А. Николаев — начальник управления Минсредмаша. В комиссию вошли ведущие специалисты промышленности, принимавшие участие в создании установки, а также представители ВМФ. Учитывая, что на стендовой установке 27ВМ к моменту проведения швартовых испытаний ЯЭУ подводной лодки еще не была достигнута номинальная мощность, а также малый опыт управления ЯЭУ ею, в

интересах безопасности при испытаниях комиссия решила не поднимать ее мощность энергоустановки выше 60 % номинальной.

Четко организованная работа сдаточной команды, испытательной партии и самой комиссии позволила провести комплексные швартовные испытания ЯЭУ в полном объеме к 5 июня 1958 г. Энергоустановка отработала на всех предусмотренных программой испытаний режимах, в том числе при работе ГТЗА и гребного электродвигателя на винт, были выполнены неоднократные вводы в действие и выводы из него установок обоих бортов при различных вариантах электропитания: от береговых источников, аккумуляторной батареи и штатных дизель-генераторов АПЛ. За время испытаний реактор правого борта отработал на мощностях до 60 % номинальной 190 ч, реактор левого борта - 200 ч. Заключительным этапом испытаний стала проверка режима обитаемости АПЛ при герметизации ее отсеков, штатном размещении всего личного состава по отсекам и работе энергоустановки на различных мощностях. Этот режим имитировал автономное плавание корабля при круглосуточном несении вахт, чередующихся со временем отдыха членов экипажа и приема ими пищи. Обнаруженные во время этой проверки некоторая излишняя сухость и повышенная температура воздуха были приведены в норму путем перераспределения проектантами АПЛ потоков в системах вентиляции отсеков.

В целом результаты швартовных испытаний свидетельствовали об удовлетворительном качестве монтажа энергоустановки, о ее работоспособности и готовности к проведению ходовых испытаний АПЛ. Комиссия определила и подлежащие исправлению недостатки отдельного оборудования и систем. Они не носили принципиального характера и были устранены заводом № 402 и его контрагентами в короткие сроки. В частности, были проведены дополнительные работы по обеспечению газоплотности настилов и выгородок, замене аргона на гелий в системе компенсации давления теплоносителя первого контура, повышению плотности затворов арматуры, регулировке КИП, обеспечению отвода в дренаж влаги, конденсирующейся на холодных поверхностях оборудования и корпусных конструкций.

Заключительный цикл проверок первая ЯЭУ прошла с 3 июля по 1 декабря 1958 г. в процессе заводских ходовых испытаний АПЛ, проводившихся образованной постановлением СМ СССР Правительственной комиссией под председательством заместителя Главнокомандующего ВМФ В.Н. Иванова. Научное руководство испытаниями осуществлял А.П. Александров. Комиссия сформировала из специалистов по корабельной и атомной технике ряд секций для проверки основных качеств АПЛ и ее систем. В частности, в энергетическую секцию, которую возглавлял И.Д. Дорофеев (ВМФ), входили В.Н. Перегудов, Н.А. Доллежал, Г.А. Гасанов, М.А. Казак, П.А. Деленс, Н.М. Синев, П.Д. Дегтярев, Г.А. Гладков, Ю.Н. Кошкин и др.

Как и при швартовных испытаниях ЯЭУ, в отступление от традиционного процесса приемки на вооружение новых кораблей заводские ходовые испытания были совмещены с государственными, что потом при сдаче многочисленных АПЛ разных проектов стало практикой. Мощность ЯЭУ вновь была ограничена величиной 60 % номинальной. Отметим также, что в отступление от принятого порядка по решению прибывшего на завод Главнокомандующего ВМФ С.Г. Горшкова ходовые испытания первой АПЛ должны были проводиться не под государственным флагом, а под флагом ВМФ, каковой и был поднят на лодке 1 июля 1958 г.

В ночь с 1 на 2 июля 1958 г. буксиры отвели АПЛ от заводского пирса. При отходе и затем при движении в морском канале лодка «подрабатывала» своими гребными электродвигателями при питании их от дизель-генераторов. Также при ходе под дизелями определялась девиация магнитного компаса и тарировались лаги по мерной миле. Затем на этом же выходе лодки 2 и 3 июля при нахождении ее у м. Лопшенга в Двинской губе были проведены «вывеска» и кренование лодки. В результате пробного погружения было установлено, что лодка «облегчена» на ~40 т. Ранним утром 4 июля на лодку высадились А.П. Александров с группой сотрудников ИАЭ, и под их наблюдением были пущены реакторы, начался вывод ЯЭУ на мощность. В 10 ч 03 мин заработали ГТЗА, обеспечивая ход лодки в надводном положении. Именно тогда А.П. Александров, постоянно находившийся в пультовой ГЭУ, сделал ставшую теперь исторической запись в вахтенном журнале пульта: «Впервые в стране на турбину без угля и мазута был подан пар». Было совершено и первое погружение АПЛ, и лодка с ядерным источником энергии около часа двигалась под водой.

К сожалению, первый выход АПЛ в море был кратким: уже на следующий день она возвратилась на завод из-за повышения радиоактивности воздуха в трех кормовых отсеках. Поскольку процедура идентификации ППУ с неисправностью еще не была отработана, отключению подверглась установка правого борта, поскольку на нем, к тому же, явно прослушивался стук гребного вала в дейдвудном подшипнике. По возвращении выяснилось, что нарушена герметичность труб в четвертой камере парогенератора ППУ другого — левого борта. Камера была отсечена. Значительно большего времени потребовал ремонт линии гребного вала на правом борту из-за, как выяснилось, несоблюдения при ее монтаже технологии подготовки бакаутовых подшипников. Кроме того, были закрыты свинцовым экраном «светящие» трубы подвода воды для охлаждения верхних подшипников насосов первого контура, в надстройку загружен недостающий балласт, устранены другие неисправности по замечаниям личного состава и комиссии. В поисках путей устранения выявленных отказов и в самих работах на этом и последующих этапах ходовых испытаний активное участие, наряду с разработчиками оборудования, принимали конструкторы СКБ-143, завода, а также представители военной приемки.

На втором выходе АПЛ в море (17-20 августа) были результативно проведены операции «вывески» и кренования, пробные погружения корабля, определены численные значения характеристик остойчивости. Во время надводных и подводных испытаний удалось опробовать все возможные режимы работы энергоустановки на допустимых уровнях мощности, снять картограммы радиационной обстановки в реакторном и других отсеках АПЛ. Испытания выявили и несколько новых неисправностей оборудования. По возвращении с моря корабль был поставлен в док для их устранения. Так, было установлено, что причиной продолжавшегося стука при работе валопровода правого борта является метровый отрезок трубы диаметром около 35 мм, оставленный во внутренней полости гребного вала при его изготовлении в механическом цехе. Самой значительной по объему и продолжительности оказалась замена на новый вышедшего из строя (из-за сильной коррозии труб со стороны морской воды) теплообменника третьего-четвертого контуров.

При третьем выходе в море (23-28 сентября) лодку не миновали и навигационные поломки: в ходе одного из всплытий на полигоне в Белом море произошла поломка

перископа при ударе плававшего топляка. Снова пришлось возвращаться в базу для замены перископа.

Всего в период ходовых испытаний корабль совершил 5 выходов в море. За 450 ходовых часов пройдена 3801 миля, из них 860 миль – в подводном положении при средней скорости 15 уз. Ограничение мощности ППУ 60 % номинальной позволило кораблю развивать скорость движения под водой до 23,3 уз. При выводе установки на полную мощность расчетная скорость составила бы 30,2 уз против гарантированной спецификацией скорости 27,2 уз. Выполнено 29 погружений лодки на разные глубины. Естественно, что главное внимание при ходовых испытаниях АПЛ было приковано к работе ее энергоустановки. Наиболее серьезной проверкой ЯЭУ явилась ее непрерывная 48-часовая работа в подводном положении лодки в пятый выход в море, когда, кроме погружения на глубину 310 м, АПЛ достигла на мерной миле указанной выше максимальной по допустимой мощности установки скорости. К концу ходовых испытаний реактор правого борта отработал (с учетом КШИ) 972 ч, реактор левого борта – 947 ч. Значения параметров ЯЭУ соответствовали спецификационным. Было установлено, что пуск из холодного состояния до перевода на электропитание от собственных генераторов ЯЭУ составляет 3-3,5 ч. Активность воды первого контура во время ходовых испытаний не превысила 10^{-3} Ки/л, что свидетельствовало о начавшемся, по-видимому, выходе в контур из твэлов радиоактивных продуктов деления, но в целом о еще допустимом состоянии активных зон реакторов.

К началу декабря 1958 г. ходовые испытания АПЛ завершились. Правительственная комиссия подвела итоги работы. В подготовленном ею акте указывалось, что созданная в СССР атомная подводная лодка является крупнейшим отечественным научно-инженерным достижением в области подводного кораблестроения. Решена проблема создания ЯЭУ большой мощности, подтверждена принципиальная правильность технических решений, принятых при проектировании установки и корабля. Комиссия констатировала, что размещение личного состава, оборудование жилых и служебных помещений, санитарно-бытовые условия удовлетворяют соответствующим требованиям, подтверждалась и достаточность биологической защиты.

Вместе с тем комиссия отмечала, что ею, а также личным составом АПЛ сделано значительное число замечаний, в основном связанных с недостаточными надежностью и ресурсом работы ряда оборудования ЯЭУ и его узлов. Отмечались малая стойкость твэлов активных зон реакторов, нарушения герметичности трубных систем камер парогенераторов и теплообменников третьего-четвертого контуров, отказы в работе главных насосов первого контура и их холодильников, отдельных приборов и устройств систем теплоконтроля и автоматики теплообмена и др. Ряд мер по исключению или локализации последствий некоторых из этих недостатков были, как указывалось выше, реализованы еще в процессе испытаний. Однако устранение большинства недостатков, как показали последовавшие за испытаниями более подробный анализ их результатов и ревизия оборудования, потребовало исправления выявленных дефектов конструкции, существенного улучшения технологических процессов, повышения качества изготовления узлов и деталей, их сборки, ужесточения контроля качества. В отдельных же случаях, примерами которых могут являться нарушения герметичности оболочек твэлов и трубных поверхностей парогенераторов, понадобились и весьма глубокие и продолжительные по времени научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы.

Именно в связи с многочисленностью сделанных замечаний комиссия не пришла к единому мнению по порядку и срокам передачи подводной лодки пр. 627 ВМФ, и в акте приемки АПЛ появились две редакции п. 4:

1-я редакция пункта: «Правительственная комиссия считает, что в настоящее время передача подводной лодки «К-3» в опытную эксплуатацию ВМФ не может быть произведена по следующим причинам:

- парогенераторы и главные циркуляционные насосы первого контура энергетической установки подлежат замене. Требуется замены и ремонта ряд других механизмов, приборов и оборудования, указанных в перечне, прилагаемом к настоящему акту;
- для обеспечения надежной работы главной энергетической установки требуется выполнить важные работы по конденсатно-питательной системе и водоподготовке;
- впервые на подводной лодке должна быть произведена силами и средствами промышленности замена активной зоны реактора левого борта (с привлечением специалистов ВМФ).

Учитывая вышеизложенное, подводная лодка может быть передана в опытную эксплуатацию только после выполнения упомянутых работ и проведения междуведомственной комиссией необходимых испытаний».

Эту редакцию подписали представители ВМФ во главе с председателем комиссии В.Н. Ивановым и представитель ГК по судостроению Г.Д. Эрлих.

2-я редакция пункта: «Правительственная комиссия считает, что опытная атомная подводная лодка «К-3» заводской № 254 должна быть передана ВМФ в опытную эксплуатацию с момента утверждения настоящего акта об окончании ходовых испытаний.

Отмечается, что уже в настоящее время большинство общекорабельных механизмов, систем, устройств, предметов оборудования и вооружения сданы по актам в эксплуатацию личному составу ВМФ.

Одним из важнейших элементов опытной эксплуатации является операция перегрузки топливных элементов активной зоны реактора, которая в дальнейшем будет выполняться только силами и средствами ВМФ в местах базирования.

Предстоящая в зиму 1958/1959 г. перегрузка носового реактора подводной лодки «К-3» является натурной проверкой этой ответственной и требующей большой осторожности эксплуатационной операции. Поэтому она должна проводиться заводами №№ 92 и 402 с участием ВМФ под техническим руководством НИИ-8 и ИАЭ АН СССР.

Необходимый навык профилактического осмотра и ремонта активного оборудования и механизмов энергетической установки личным составом подводной лодки может быть получен только во время предстоящего ремонта.

Весь опыт эксплуатации, в том числе ремонтных работ, должен контролироваться и обобщаться Научно-исследовательским институтом № 1 ВМФ, который и должен осуществлять руководство опытной эксплуатацией».

Эту редакцию подписали научный руководитель А.П. Александров, главный конструктор АПЛ В.Н. Перегудов и другие представители промышленности.

После рассмотрения акта Правительственной комиссии в соответствующих ведомствах и ВМФ Совет Министров СССР принял редакцию 4-го пункта во 2-й редакции и постановлением от 17 января 1959 г. утвердил акт о приемке корабля, обязав ВМФ принять АПЛ в опытную эксплуатацию, а промышленность - провести до середины

1959 г. доработки оборудования и его усовершенствование по утвержденному перечню. Всего на корабле до начала его опытной эксплуатации необходимо было выполнить работы по 56 пунктам замечаний и предложений Правительственной комиссии. Около 180 предложений требовали проведения ряда дополнительных научно-исследовательских работ и углубленных конструкторских проработок для оценки возможности их реализации на серийных АПЛ.

Таким образом, решение правительства давало возможность ВМФ и промышленности, не теряя темпов освоения новейшей техники, быстро накопить необходимый опыт, пережить «детские болезни», исправить конструкторские и заводские недоработки с тем, чтобы отечественные атомные подводные лодки могли строиться и эксплуатироваться флотом.

В заключение приведем хронологию наиболее значимых событий в 6-летней эпопее разработки, строительства и испытаний первой отечественной АПЛ.

Событие	Даты
Выход постановления СМ СССР о создании подводной лодки с атомной энергетической установкой	9 сентября 1952 г.
Разработка предэскизного проекта ЯЭУ	сентябрь 1952 г. – январь 1953 г.
Разработка предэскизного проекта АПЛ	октябрь 1952 г. – март 1953 г.
Разработка эскизного проекта АПЛ	март-октябрь 1953 г.
Утверждение эскизного проекта АПЛ	21 декабря 1953 г.
Разработка технического проекта АПЛ	ноябрь 1953 г. – июнь 1954 г.
Выход постановления СМ СССР о корректировке технического проекта АПЛ по результатам его экспертизы ВМФ	26 марта 1955 г.
Корректировка технического проекта АПЛ	апрель – июль 1955 г.
Разработка, выпуск и корректировка чертежей для судостроительного завода	апрель 1954 г. – июль 1955 г.
Закладка АПЛ на заводе № 402	24 сентября 1955 г.
Спуск АПЛ на воду	9 августа 1957 г.
Швартовные испытания АПЛ	сентябрь 1957 г. – июнь 1958 г.
Загрузка ядерного топлива в реакторы АПЛ, проведение физических пусков реакторов	13-14 сентября 1957 г.
Первый вывод на мощность ППУ левого борта	19 апреля 1958 г.
Первый вывод на мощность ППУ правого борта	18 мая 1958 г.
Подъем на АПЛ флага ВМФ	1 июля 1958 г.
Первый вывод ЯЭУ на мощность для обеспечения движения АПЛ	4 июля 1958 г.
Ходовые (государственные) испытания АПЛ	июль – декабрь 1958 г.
Подписание Правительственной комиссией акта приемки АПЛ	17 декабря 1958 г.
Выход Постановления СМ СССР об утверждении акта приемки АПЛ	17 января 1959 г.



*Атомная подводная лодка проекта 627
(Научно-технический справочник/Подводные лодки России (т. IV, ч. 1). СПб.:ЦКБМТ "Рубин", 1996.)*

Глава 3. Эксплуатация АПЛ

30-летний период эксплуатации первой АПЛ характеризуется как многими достижениями в реализации принципиально новых для подводного флота страны качеств, так и рядом неудач, типичных для процессов рождения и становления не существовавших ранее направлений научных и конструкторских поисков, внедрения в отечественное энерго- и кораблестроение новых сложных технологий, освоения необычной техники людьми, формирования необходимой для ее работы инфраструктуры. Последствиями этих неудач становились достаточно длительные перерывы в использовании подводной лодки по своему назначению, связанные с ее ремонтами для устранения появившихся неисправностей, с заменой оборудования, его модернизацией. Первая АПЛ, особенно на начальном этапе своей жизни, действительно соответствовала своему статусу опытного корабля.

3.1. Общие сведения об эксплуатации АПЛ

Краткая хронология жизненного цикла АПЛ «К-3» (такой тактический номер она получила в 1958 г.) после приемки в опытную эксплуатацию представлена ниже.

1959 г. - 3 выхода в море, в том числе плавание под кромкой льда в Карском, Норвежском, Гренландском морях до 79° северной широты. Пройдено 9412 миль, из них под водой — 6895 миль.

С декабря 1959 г. по май 1961 г. — ремонтные и модернизационные работы.

Август и декабрь 1961 г. — два высокоширотных похода общей продолжительностью 19 сут. Пройдено 6908 миль, из них под водой — 4290 миль.

Июль 1962 г. — арктический поход подо льдом. 17 июля впервые в истории отечественного подводного флота пересечена точка Северного полюса. Во время похода АПЛ трижды всплывала в полыньях и разводьях:

15 июля — на $84^\circ 08'$ северной широты и $0^\circ 49'$ восточной долготы.

18 июля — на $84^\circ 54'$ северной широты и $0^\circ 01'$ западной долготы.

19 июля — на $79^\circ 40'$ северной широты и $0^\circ 41'$ западной долготы.

С февраля 1963 г. по ноябрь 1965 г. — АПЛ в Северодвинске. В связи с большим объемом ремонтных и модернизационных работ и неблагоприятной радиационной обстановкой для их проведения, заводами № 402 и «Звездочка» вырезается реакторный отсек и заменяется новым. Из реакторов «старого» отсека выгружается отработавшее ядерное топливо, а сам отсек захоранивается под водой у о. Новая Земля.

1966-1967 гг. — два похода общей продолжительностью 111 сут. Пройдено 41 168 миль, из них под водой — 37 104 мили.

1970-1972 гг. — текущий ремонт.

1973-1975 гг. — три похода общей продолжительностью 149 сут.

1982-1985 гг. — два похода общей продолжительностью 32 сут. Данные по пройденному пути в этих и трех предыдущих походах, к сожалению, найти не удалось.

Август 1987 г. — вывод из боевого состава ВМФ.

Сентябрь 1989 г. — перевод в подкласс учебно-тренировочных судов.

Ноябрь 1993 г. — перевод с отдельную бригаду ПЛ, выведенных из боевого состава ВМФ.

Всего со времени окончания испытаний ЯЭУ в 1958 г. подводная лодка прошла 128 443 мили за 14 115 ходовых часов.

Более подробные сведения о наиболее значимых этапах жизненного цикла АПЛ приводятся ниже.

3.2. Опытная эксплуатация АПЛ

Важной вехой в истории АПЛ стал выход 17 января 1959 г. Постановления СМ СССР № 80-38, утвердившего акт Правительственной комиссии и обязавшего Минобороны СССР (ВМФ) принять подводную лодку «К-3» в опытную эксплуатацию. Этап «опытная эксплуатация» при приемке новых кораблей ВМФ вводился впервые, он примирял разногласия, возникшие при подписании акта и связанные со значительным количеством замечаний, сделанных представителями ВМФ в комиссии, по работе ряда оборудования, механизмов и приборов. Как показало время, принципиально новая ПЛ, созданная в весьма короткие сроки в условиях недостаточно подготовленной к столь сложным работам промышленности, должна была пройти через этот этап с тем, чтобы обеспечить возможности повышения качества изготовления и совершенствования ее составных частей и прежде всего атомной энергетической установки, получения навыков эксплуатации, своевременного использования полученного опыта при проектировании и строительстве последующих АПЛ (три из них — «К-5», «К-8» и «К-14» — будут сданы уже в конце 1959 г.).

В упомянутом постановлении отмечалось следующее:

«...Учеными, конструкторами, инженерами и рабочими создана первая в СССР атомная подводная лодка.

Разрешена принципиальная проблема создания атомной энергетической установки большой мощности для отечественных подводных лодок.

Проведенные ходовые испытания подтвердили запроектированные основные тактико-технические элементы ПЛ при тепловой мощности реактора до 60% номинальной.

Впервые были достигнуты предельная глубина погружения в 310 м и скорость хода под водой 43 км/ч (23,3 уз), превышающая расчетную на 5,5 км/ч (3 уз) при указанной тепловой мощности реактора.

Подводная лодка хорошо управляется и обладает хорошей устойчивостью по глубине и курсу при скорости от 10,2 км/ч (5,5 уз) до наибольшей достигнутой.

Значительно улучшена скрытность АПЛ по сравнению с существующими ПЛ.

Биологическая защита от гамма- и нейтронного излучения обеспечивает безопасную работу личного состава в реакторном отсеке и не ограничивает время пребывания в смежных отсеках.

Система комплексного кондиционирования обеспечивает в условиях проведения испытаний благоприятные параметры и состав воздуха.

Личный состав хорошо изучил материальную часть в период ходовых испытаний, успешно управлял ПЛ и ее атомной энергетической установкой.

Однако в процессе испытаний опытной лодки выявились конструктивные недостатки по отдельным механизмам, оборудованию и приборам.

В частности, оказались недостаточно надежными в работе и выходили из строя некоторые вспомогательные механизмы и оборудование АЭУ:

- ГЦНПК (Ленинградский Кировский завод);
- парогенераторы (завод № 189);
- теплообменники третьего и четвертого контуров (Сумской машиностроительный завод им. М.В. Фрунзе);
- холодильники главных циркуляционных насосов первого контура (ленинградский Кировский завод);
- бессальниковые затворы парогенераторов (завод «Знамя труда»).

Также были обнаружены недостатки в системе подготовки питательной воды для второго контура, которая не обеспечивала требований по соле- и кислородосодержанию...»

СМ СССР обязал Государственный комитет по судостроению, завод № 402 и его контрагентов выполнить по заказу ВМФ на опытной ПЛ к началу навигации в Белом море в 1959 г. работы согласно представленному Правительственной комиссией перечню.

Опытная эксплуатация подводной лодки осуществлялась под руководством НИИ № 1 ВМФ, из сотрудников которого в основном была сформирована группа специалистов различного профиля, возглавляемая И.Д. Дорофеевым. В группу входили и к работе ее привлекались также представители СКБ-143 и других предприятий-разработчиков. Основные задачи опытной эксплуатации — дальнейшее освоение АПЛ личным составом, определение надежности и фактического ресурса работы систем и оборудования, уточнение тактико-технических и экономических характеристик корабля и его энергоустановки, выявление слабых мест новой техники и ПЛ в целом, выработка научно обоснованных предложений по улучшению последующих проектов подводных лодок и их ЯЭУ, что позволило бы во многом уточнить и дополнить начавшие реализовываться с 1959 г. планы развертывания НИОКР в области подводного кораблестроения и ядерной энергетики.

Самостоятельной задачей было проведение опытной перегрузки технологических каналов реактора.

Этап опытной эксплуатации начался с выполнения ремонтных и модернизационных работ, главным объектом которых стала энергоустановка. Объем этих работ определялся ремонтной ведомостью, подготовленной СКБ-143 и заводом № 402 на основе акта Правительственной комиссии и предложений группы опытной эксплуатации, офицеров КПА ГУК ВМФ и экипажа лодки, представителей ИАЭ, НИИ-8, других разработчиков, а также заводов-изготовителей оборудования. Ремонтные работы продолжались до конца мая 1959 г. Среди них:

- замена парогенераторов ПГ-13 новыми, изготовленными по усовершенствованной технологии;
- установка во все баллоны компенсаторов давления прямых труб вместо змеевиков;
- ревизия и устранение выявленных неисправностей в арматуре, оборудовании, приборах СУЗ и систем контроля тепловой автоматики;
- замена активной зоны в носовом реакторе.

Замена активной зоны — первая в практике отечественного атомного флота — производилась с использованием подъемных кранов плавучего дока и специально

сооруженного в нем хранилища отработавших ТК. Применялись разработанные ОКБ завода № 92 и изготовленные заводом для выполнения перегрузочных работ оснастка и приспособления комплекса ПУ-1, на базе которого впоследствии были созданы комплексы ПУ-2, длительно использовавшиеся для перегрузки реакторов АПЛ первого поколения.

По завершении ремонтных работ 27 июня 1959 г. на мощность была выведена ЯЭУ левого, а 1 июля — правого борта. Тогда же, в июле был совершен и первый в период опытной эксплуатации выход в Белое море продолжительностью около недели. Всего же в 1959 г. было осуществлено 3 выхода, причем во втором из них, в августе, АПЛ достигла в Баренцевом море 81-й параллели. Во время этого выхода в море была выявлена негерметичность трубной системы второй секции парогенератора правого борта. Одними из основных задач третьего выхода (ноябрь 1959 г.) являлись испытания эхоледомера для определения толщины льда в подводном положении, а также нахождение полыньи достаточных размеров, где подводная лодка могла бы всплыть во льдах. Кроме того, особое внимание уделялось проверкам действия в высоких широтах и освоению личным составом гироскопического навигационного комплекса «Плутон» и штатной гидроакустической аппаратуры. При одном из всплытий во время этого выхода из-за столкновения с неустановленным объектом (по-видимому, со льдиной) был погнут перископ, что лишило хода и другие выдвижные устройства.

Средняя мощность реакторов во время выходов в море составляла 30 % номинальной, хотя иногда поднималась уже до 80 %. Проверялись и отработывались различные режимы эксплуатации ЯЭУ, в том числе и не реализовавшиеся ранее ни на стенде 27ВМ, ни на лодке. В частности, один из выходов был осуществлен впервые при работе только реакторной установки правого борта и подаче пара на два ГТЗА. В этот же период опытной эксплуатации для предотвращения переопрессовки первого контура в аварийную защиту был введен сигнал максимально допустимого давления в контуре. Кроме того, определилась необходимость разработки и реализации режимов работы ППУ при сниженном давлении теплоносителя в первом контуре. Дополнительным аргументом в пользу внедрения таких режимов стала значительная утечка гелия из системы компенсации давления.

В начале декабря 1959 г. АПЛ возвратилась в Северодвинск. В это же время экипаж лодки расстается со своим первым командиром: Л.Г. Осипенко назначается начальником учебного центра ВМФ в Обнинске. Командиром АПЛ «К-3» становится Л.М. Жильцов. В декабре закончилась и опытная эксплуатация лодки.

3.3. АПЛ «К-3» в составе Северного флота

После завершения опытной эксплуатации АПЛ «К-3» начала использоваться как для выполнения специальных заданий командования, так и для несения службы на просторах Мирового океана — нового вида боевой деятельности ВМФ.

3.3.1. Подготовка к походу на Северный полюс

Весь 1960 г. и первую половину 1961 г. лодка находилась на заводе №402, где проводились ремонт и дооснащение корабля перед намеченным еще в конце 1959 г. походом к Северному полюсу (здесь мы пока уступали США: их атомные подводные лодки «Наутилус» и «Скейт» уже достигали вершины планеты).

В процессе подготовки похода:

- установлены новые, в короткие сроки разработанные и изготовленные сборные паровые коллекторы с отсечными клапанами, позволяющими отключать секции парогенераторов реакторной установки по выходу пара. Ранее они отключались только по подаче питательной воды, что делало возможным попадание в турбинный отсек радиоактивности с теплоносителем первого контура в случае негерметичности трубных систем парогенераторов;

- с целью сокращения потенциальных мест нарушения плотности системы первого контура из его состава исключены контактные аппараты и ряд приборов теплотехнического контроля с импульсными трубками и арматурой малых диаметров;

- смонтирована система аварийной подпитки реакторов водой (непосредственно в активную зону);

- заменены новыми (с шестислойными сильфонами) сильфонные сборки на основной арматуре первого контура;

- заменены холодильники вспомогательных циркуляционных насосов первого контура;

- токопреобразователи АПТ-75-50 заменены на СПТ-75-50;

- установлена аппаратура навигационного комплекса «Сила-Н», включающая в себя два гироазимута, гировертикаль, автоматический счислитель координат, приборы связи и управления комплексом;

- установлен второй лаг «ЛР-8»;

- установлен второй комплект двухгирокомпасной системы «Маяк» (с увеличенным кинематическим моментом);

- установлены дополнительные приборы связи комплекса «Плутон», два комплекта эхолотов и эхоледомеров, два комплекта телевизионной аппаратуры «Креветка»;

- заменена на новую (или модернизированную) штатная гидроакустическая аппаратура («Арктика-М» вместо «Арктика», МГ-10 вместо «Марс-16», «Плутоний» вместо «Луг», «Свет-М» вместо «Свет»);

- установлено устройство «Береста» для измерения скорости звука в воде;

- усилено ограждение рубки для лучшего продавливания льда при всплытии.

К середине 1961 г. указанные работы завершились, в Белом море были проведены проверки возможностей маневрирования лодки, в том числе таких, как плавание задним ходом и вертикальное всплытие без хода. Однако в июле 1961 г. произошла авария на первой ракетной АПЛ «К-19», и до выяснения причин аварии поход «К-3» был отложен, а сама лодка, кроме совершения упомянутых выше высокоширотных походов, в том числе под паковый лед, использовалась для проверки новой гидроакустической станции и в качестве объекта для испытаний противолодочных систем. Характер этих испытаний потребовал многократных резких (от полного хода до полной остановки) изменений режимов работы ЯЭУ. Вместе с тем, вновь было выявлено нарушение герметичности трубных систем камер парогенераторов. Необходимые ремонтные работы пришлось выполнять на Палагубском судоремонтном заводе ВМФ, так как АПЛ «К-3» в августе 1961 г. была переведена для базирования из Северодвинска в Западную Лицу. Этот завод еще не имел опыта ремонтов АПЛ, и все операции требовали существенно большего времени и непосредственного участия личного состава АПЛ «К-3». Так, например, им

была выявлена негерметичность сварного шва на трубопроводе первого контура, выполненного на заводе № 402 после демонтажа контактного аппарата. Это обстоятельство потребовало повторной проверки сварных швов других трубопроводов контура, в частности, в насосной выгородке реакторного отсека. Обнаруженные дефекты сварки были устранены.

С целью опробования систем ЯЭУ после длительной стоянки, выявления возможных неисправностей, а также для проверки навигационного оборудования с 4 по 9 июля 1962 г. подводная лодка совершила контрольный выход в море. Во время этого выхода и при ревизии по возвращении на базу были обнаружены следующие неполадки:

- повышенный шум подшипника циркуляционного насоса ГТЗА правого борта. Подшипник незадолго до этого был заменен силами судоремонтного завода;
- увеличенные протечки забортной воды через сальник насоса четвертого контура ППУ правого борта. Проверка показала, что набивка сальника была нештатной;
- выход из строя фильтра на всасе этого же насоса из-за появления свища в корпусе фильтра. При демонтаже и вскрытии фильтра были обнаружены следы язвенной коррозии;
- «запаривание» герметичных выгородок обоих реакторов. Проверка активности среды в выгородках, а также анализ мазков с поверхностей оборудования, находящегося внутри их, показали, что конденсат пара слабоактивен. Впоследствии была найдена причина этого явления — своего рода постоянный круговорот влаги, присутствующей из-за неустраняемых технологических протечек воды внутри выгородок: ее испарение на горячих поверхностях крышки реактора и защитной плиты, конденсация на более холодных поверхностях и вновь испарение. Для прерывания этого круговорота в выгородках были размещены специальные влагосборники, из которых конденсат организованно отводился в дренажный бак;
- непроходимость первой секции парогенератора установки левого борта по первому контуру. При этом бессальниковые затворы секции нормально управлялись и замечаний по работе не имели. Секция была отключена;
- сбой в управлении бессальниковыми затворами второй, третьей и четвертой секций парогенератора установки правого борта. Надежное управление ими было восстановлено при использовании в качестве рабочей среды воды из напорного трубопровода подпиточного насоса Т-4А.

Кроме того, во время проведенных при выходе в море интенсивных испытаний с маневрированием АПЛ на глубине около 40 м натолкнулась на трос рыболовного трала, который прошел по надстройке, срезал приемник станции «Свет» и повредил прибор «Береста».

Замена этих устройств, а также устранение указанных выше неполадок были выполнены личным составом АПЛ в течение суток, и в ночь на 11 июля 1962 г. подводная лодка «К-3» из Западной Лицы вышла к Северному полюсу.

3.3.2. Поход к Северному полюсу

По выходе в Баренцево море АПЛ взяла курс на запад и северо-запад до нулевого меридиана. Движение лодки проходило в основном на глубинах от 50 до 120 м со скоростью хода около 15 уз. При этом мощность обоих реакторов поддерживалась постоянной на уровне 35 % номинальной.

На нулевой меридиан подводная лодка вышла 13 июля 1962 г.

До ухода под лед она совершила несколько подвсплытий для установления радиосвязи. При нахождении лодки под водой с помощью установленной опытной аппаратуры «МГ-17», принимавшей сигналы от специально осуществленных с двух обеспечивающих судов (одно из них находилось у берегов Гренландии, а другое — у берегов острова Шпицберген) подводных взрывов производилось определение месторасположения АПЛ.

В период всего перехода от базы до вхождения в зону льдов велось постоянное наблюдение за поведением приборов навигационного комплекса «Сила-Н», определялись оптимальные поправки к показаниям гироскопов и гироазимутов, которые периодически вводились в приборы. Эти работы продолжались непрерывно и на последующих этапах похода, что обеспечило обратный выход лодки из-под льдов в точку, определенную по счислению, с ошибкой, не превышающей 30 миль.

14 июля в 11 ч (около 79°30' с.ш.) появился редкий, а в 12 ч — сплошной лед с небольшими разводьями. Наблюдение за ледовой обстановкой велось с помощью телевизионной установки «Креветка», которая давала на экране изображение контуров ледяных полей с глубины до 80 м без специальной подсветки, что объяснялось летним временем года. Контроль состояния поверхности океана велся также и по эхоледомеру, однако его показания были менее наглядными.

15 июля в 6 ч 20 мин лодка перешла на движение под гребными электродвигателями со скоростью хода в 5-7 уз для поиска полыньи в районе 84° с.ш. в соответствии с намеченным планом похода. Для наблюдения за ледовым покровом помимо телевизионной установки использовался перископ, находившийся в опущенном положении, а в трюме 3-го отсека у перископа была установлена постоянная вахта, сохранявшаяся до момента выхода из-под льда. Поиск подходящей для всплытия полыньи продолжался около 12 ч. При этом размер полыньи по ходу лодки определялся с помощью секундомера, лага и перископа. За это время было произведено две попытки всплытия, не удавшихся из-за недостаточных размеров полыньи. И хотя эти попытки осуществлялись с максимальной осторожностью, тем не менее снова был сбит приемник станции «Свет», поврежден прибор «Береста», сделана вмятина в ограждении рубки площадью 0,5 м² и помят аварийный буй. Наконец, после почти полусуток блуждания лодки подо льдом в 17 ч 40 мин 15 июля удалось всплыть на 84° с.ш. в полынье почти круглой формы диаметром в 3-4 длины лодки. Вокруг полыньи находился торосистый лед толщиной 2-3 метра. После сеанса радиосвязи и установки на льду памятного флага в 5 ч 16 июля лодка погрузилась для продолжения похода к Северному полюсу. Точку полюса лодка прошла в 6 ч 59 мин 17 июля 1962 г. Толщина льда в этом районе составляла 2-2,5 м. После достижения полюса лодка продолжала движение 15-узловым ходом в течение 1,5 ч, после чего развернулась на 180° и вторично прошла над полюсом в 10 ч.

Поскольку южнее был сплошной ледовый покров без разводий, второе всплытие удалось осуществить только 18 июля около 85° с.ш., в полынье размерами, незначительно превышающими длину лодки. Одной из основных целей этого всплытия было уточнение координат места нахождения АПЛ для внесения поправок в показания приборов навигационного комплекса. Однако в связи с пасмурной погодой и отсутствием на лодке приборов, позволяющих уточнить свои координаты в этих условиях, подводная лодка была вынуждена продолжать движение к югу по показаниям приборов навигационных комплексов без внесения в них необходимых поправок (по обсервации места).

19 июля подводная лодка произвела третье всплытие в полынье на $79^{\circ}40'$ с.ш., и по часто скрывавшемуся за облаками солнцу удалось ориентировочно определить координаты положения лодки. Расхождение между счислимыми и обсервованными координатами составило 10-30 миль. После выхода из-под льда скорость движения АПЛ была увеличена до 24 узлов для быстрого возвращения лодки на базу. Как выяснилось позднее, поступивший на лодку приказ об этом был вызван ожидавшимся прибытием на встречу с экипажем АПЛ Н.С. Хрущева. Чтобы повысить скорость хода, в ППУ при нахождении лодки в подводном положении были произведены операции по перекачке гелия (с помощью подпиточных емкостей) из резервных баллонов в ресиверные баллоны системы газа высокого давления, после чего реакторы обоих бортов были выведены на мощность около 61 % номинальной.

20 июля 1962 г. подводная лодка вернулась в п.Иоканьга. За этот поход лодка прошла 3115 миль, из них подо льдами Арктики - 1294 мили, а под водой - 2928 миль.

21 июля произошла встреча участников похода к Северному полюсу с Н.С. Хрущевым, который поздравил участников с выполнением задания правительства и благополучным возвращением в базу, а также вручил правительственные награды всем членам экипажа АПЛ и участвовавшим в походе сотрудникам СКБ-143. Руководителю похода командиру флотилии А.И. Петелину, командиру подводной лодки Л.М. Жильцову и командиру БЧ-5 Р.А. Тимофееву были вручены медали "Золотая Звезда" Героев Советского Союза и ордена Ленина. 23 июля 1962 г. подводная лодка «К-3» вернулась к месту своего постоянного базирования - в Западную Лицу.

Материальная часть корабля в целом обеспечила успешное выполнение задач и графика похода. Ниже приводятся сведения о работе ряда систем и оборудования АПЛ во время похода.

Ядерная энергоустановка и электроэнергетическая система. Дважды (11 и 14 июля 1962 г.) повышалась активность воздуха в 5-м отсеке. В первом случае это было связано с наличием «грязной» воды в подпиточных баках первого контура, во втором - с нарушением плотности разъемного соединения в месте установки термометра, измеряющего температуру верхнего подшипника вспомогательного циркуляционного насоса первого контура (правый борт). Причины повышения активности воздуха были устранены без остановки РУ (соответственно сменой воды в подпиточных баках и поджатием уплотнительной прокладки термометра), после чего отсек вентилировался.

12 июля вышел из строя верхний несущий подшипник электродвигателя циркуляционного насоса забортной воды ГТЗА левого борта, как выяснилось, из-за неправильной сборки узла на судоремонтном заводе. В весьма стесненных условиях на ходу АПЛ в подводном положении была произведена замена подшипника.

Во время возвращения на базу после выхода из-под льда при увеличении частоты вращения гребных винтов до 400 об/мин дважды возникал круговой огонь («перекрытие») на носовом коллекторе электрогенератора левого борта, что, по-видимому, было следствием сбоя в работе автоматического регулятора напряжения в схеме преобразователя АПО-7-50, от которого осуществлялось питание регулятора напряжения генератора. После подключения резервного преобразователя и произведенной чистки коллектора, замечаний по работе электрогенераторов не было.

Навигационное оборудование. Курсоуказание от $69^{\circ}30'$ до $77^{\circ}-80^{\circ}$ с.ш. осуществлялось по осредненному значению показаний трех гироазимутов, работавших в режиме с

коррекцией от четырех гирокомпасов. После появления больших погрешностей у гирокомпаса, расположенного в 9-м отсеке и подверженного действию повышенной вибрации от работы гребных винтов, он из осреднения был исключен.

Севернее 80° с.ш. навигационные комплексы «Плутон» и «Сила-Н» были переведены в квазигеографическую систему координат. Коррекция гирокомпасов была исключена, и курсоуказание до Северного полюса и обратно осуществлялось только от гироазимутов. Погрешность гирокомпасов на 84° с.ш. доходила до 3,5°, а в районе Северного полюса — 12-15°. На их показания резко влияли маневрирование и вертикальные ускорения при всплытиях и погружениях подводной лодки.

Девияция магнитного компаса не превосходила 5°. При погружениях лодки требовалось определенное время для обеспечения устойчивости его показаний.

Работоспособность эхолота поддерживалась заменой ряда его элементов (усилителей, ламп и др.), которые достаточно часто выходили из строя. Также приходилось заменять и газоразрядную трубку эхоледомера. Основным средством наблюдения за ледовой обстановкой был перископ, поскольку он давал более наглядное представление о контурах и строении ледового покрова, а также о наличии и размерах полыней, по сравнению с другими системами (телевизионная установка «Креветка», эхоледомеры).

Гидроакустическая аппаратура. Станции «Арктика-М» и «МГ-10» работали в походе почти непрерывно без каких-либо сбоев. Станция «Плутоний» работала периодически и нижней кромки льда не обнаруживала, поскольку подводная лодка, как правило, шла на глубине более 50 м, а толщина льда в среднем составляла 3-3,5 м. Станция «Свет-М» и прибор «Береста» практически не работали, так как были повреждены вскоре после начала похода при всплытии во льдах. Чувствительность опытной шумопеленгаторной станции «МГ-17» на расстояниях около 100 миль от мест, где были специально произведены взрывы, была слабой, что весьма затруднило распознавание сигналов.

Аппаратура радиолокации, радиосвязи и радионавигации. По условиям похода этот комплекс работал эпизодически и серьезных замечаний не имел.

3.3.3. Замена реакторного отсека АПЛ

Летом 1963 г. АПЛ «Ленинский комсомол» (такое имя кораблю было присвоено в октябре 1962 г.) пришла на судоремонтный завод «Звездочка» в Северодвинск для выполнения среднего ремонта. Его основной причиной была необходимость замены парогенераторов: трубные поверхности многих камер потеряли герметичность. Кроме того, в начале года была обнаружена и разгерметизация тепловыделяющих элементов. Крупные ремонтные работы на атомных подводных лодках заводом еще не выполнялись, к тому же предстоявшие операции должны были осуществляться в условиях достаточно сложной радиационной обстановки. Поэтому по предложению директора завода № 402 Е.П. Егорова было решено заменить целиком 5-й (реакторный) отсек.

К этому времени заводом № 402 было построено и передано в эксплуатацию уже несколько серийных АПЛ пр. 627А, многие составные части которых подверглись существенной модернизации по сравнению с опытным кораблем пр. 627. Усовершенствования затронули, в частности, и реакторный отсек: компоненты биологической защиты, входившие на первой лодке в состав размещавшихся над крышками реакторов поворотных плит, удалось разместить непосредственно на крышках, соответственно удлинив вваренные в них стаканы для прохода тяг компенсирующих решеток, гильз стержней АР и АЗ, термометров; были улучшены конструкции

герметичных выгородок и опор трубопроводов первого и второго контуров, а также их трассировка; внедрены новые конструкции баллонов компенсаторов объема первого контура, арматуры и др. оборудования. Именно на модернизированный отсек по пр. 627А предстояло осуществить замену.

По намеченной технологии завод «Звездочка» должен был выполнить все подготовительные работы, в том числе демонтировать из отсека представляющее интерес нерадиационно-опасное оборудование, вырезать 5-й отсек и передать носовую и кормовую части лодки заводу № 402, который и соединит с ними заранее заверченный монтажом новый реакторный отсек.

Работы по разрезке АПЛ проводились в августе 1964 г. в плавдоке. Носовая и кормовая части лодки были закрыты переборками и удифферентованы твердым балластом. В начале ноября 1964 г. плавдок отвели от причала, а затем притопили для вывода из него носовой и кормовой частей АПЛ. Однако вывод с первой попытки не удался, поскольку кормовая часть неожиданно получила большой дифферент: оказалась негерметичной одна из цистерн главного балласта. Только после восстановления ее герметичности была осуществлена повторная операция вывода частей лодки из плавдока и буксировка их на завод № 402. Замена реакторного отсека и все сопутствующие работы на АПЛ «Ленинский комсомол» завершились в 1965 г. Как уже указывалось, «старый» отсек, после выгрузки из его реакторов тепловыделяющих сборок, был затоплен в Карском море.

3.3.4. Автономный поход АПЛ после замены реакторного отсека

В июле-августе 1966 г. АПЛ «Ленинский комсомол» совершила длительный автономный поход. Подготовка лодки осуществлялась в основном ее личным составом. При этом в соответствии со сложившимся порядком были проверены знания им материальной части корабля с рассмотрением ранее возникавших на этой и других АПЛ неполадок и аварийных ситуаций, осуществлены плано-предупредительные проверки и, при необходимости, ремонтные работы на механизмах и аппаратуре лодки, выполнена проверка отсеков на плотность давлением $0,5 \text{ кгс/см}^2$, пополнены запасные части, приборы, инструмент и все расходные материалы, произведен осмотр водолазами подводной части лодки. На контрольном выходе АПЛ выполнила погружение на глубину 240 метров, затем корабль был размагничен.

В целом за время похода (немногим более 50 сут) системы и механизмы корабля выполняли свои функции в основном удовлетворительно, в том числе в условиях изменений температуры забортной воды во время похода от $+4$ до $+28$ °С. Тем не менее личному составу пришлось устранять своими силами ряд появившихся во время похода неисправностей оборудования энергоустановки, вспомогательных и общесудовых систем, приборов. Так, в частности:

- смонтирована нештатная перемычка на всасе насосов третьего контура ППУ, поскольку ни ключом с мнемосхемы пульта энергоустановки, ни с местного поста не открывался один из клапанов контура;

- отрегулированы зазоры в подшипниках компрессоров системы вакуумирования (с частичной разборкой самих компрессоров) из-за появившегося регулярного стука в этих узлах;

- устранено неплотное закрытие автоматических клапанов, не позволявшее «взводить» аварийную защиту ГТЗА правого борта;

- очищены от засоления сопла струйного реле, что вызывало переполнение главного конденсатора на правом борту;
- разобран и заглушен трубопровод слива воды из конденсатно-питательной системы, в котором появилась значительная (до 1 т/ч) утечка;
- выведен из действия из-за нараставших вибраций один из двух электропитательных насосов установки левого борта;
- отремонтирован насос системы охлаждения линии вала на установке левого борта;
- заменена сальниковая набивка циркуляционного насоса ГТЗА правого борта (что потребовало непродолжительной остановки ГТЗА) после начавшейся сильной течи забортной воды в 6-й отсек;
- удалена заклинившая в обтекателе банка регенерации воздуха, мешавшая закрыванию передней крышки устройства для удаления контейнеров; для удаления банки на перископной глубине погружения лодки в 1-м отсеке было создано противодействие до 1 кгс/см²;
- притерты и частично заменены новыми клапаны основного и вспомогательного редукторов системы воздуха среднего давления, допускаящих неоднократные резкие повышения давления за собой;
- заменены отдельные элементы в датчиках и вторичных приборах КИП и СУЗ.

Хорошее знание материальной части АПЛ ее личным составом позволяло оперативно устранять возникавшие неисправности. Тем не менее в отдельных случаях время установления причин их возникновения и выполнения возможных в условиях похода ремонтных работ доходило до 3 сут.

Представляют интерес данные по наработкам ряда систем, оборудования и механизмов корабля за время похода (см. табл.5).

Таблица 5

Система, оборудование, механизм	Наработка, ч	
	Правый борт	Левый борт
Реактор	24 968 МВт·ч	22 122 МВт·ч
Парогенератор	1225	1221
Главный циркуляционный насос первого контура	1239	1234
Вспомогательный циркуляционный насос первого контура	1286	1268
Циркуляционный насос третьего контура	1254	1254
Циркуляционный насос четвертого контура	1254	1254
Фильтр теплоносителя первого контура	1254	1247
Подпиточный насос первого контура	0,5	0,5
Компрессор системы вакуумирования необитаемых помещений реакторного отсека	27	36
Главный турбозубчатый агрегат при работе:		
- на винт	991	1009
- в турбогенераторном режиме	221	195

Система, оборудование, механизм	Наработка, ч	
	Правый борт	Левый борт
Питательные насосы:		
- ЭПН-1	1217	743
- ЭПН-2	1226	
Конденсатный насос	1224	1225
Фильтр теплоносителя второго контура	1207	1146
Циркуляционный насос забортной воды	1221	1220
Масляный насос	1219	1215
Резервный масляный насос	13	
Испарительно-водоопреснительная система	548	548
Холодильные машины:		
- Э-250	160	
- Э-320	1172	
Контрольно-измерительные приборы	1212	1212
Дизель-генератор	-	-
Аккумуляторная батарея (условный полный цикл)	2,23	2,20

Средняя энерговыработка ядерного топлива за поход составила 2,56 МВт·ч/милю.

Наиболее рациональным в походе являлся режим работы обоих ГТЗА при последовательном соединении якорей генераторов и частоте вращения гребных валов 230 об/мин. В этом режиме обеспечивалось минимальное травление пара при минимально допустимой температуре. Режим максимального в походе хода при частоте вращения гребных валов 400 об/мин продолжался в течение суток при мощностях реактора правого борта 66 % номинальной и реактора левого борта — 64 %. При этом каких-либо нерегламентных отклонений технологических параметров реакторных установок не было. Во время похода ГТЗА на самопротоке забортной воды не работали. При изменении ее температуры от +4 °С обороты циркуляционного насоса забортной воды изменялись от минимальных значений до 750 об/мин, что обеспечивало поддержание требуемого вакуума в главных конденсаторах обеих турбин и нормальное охлаждение вспомогательных механизмов. При подвсплываниях АПЛ на перископную глубину перепады температуры забортной воды достигали 8 °С и конденсатные насосы часто срывали подачу. Эффективным средством предотвращения таких срывов являлось повышение числа оборотов циркуляционных насосов до 900 об/мин и ухудшение вакуума в главном конденсаторе на 30-40 мм рт.ст. Температура подшипников насосов паротурбинной установки составляла 35-40 °С вне зависимости от изменения температуры забортной воды. Температура питательной воды перед фильтрами находилась в пределах 30-50 °С, достигая 55 °С лишь в переходных режимах работы энергоустановки. Средняя утечка питательной воды из второго контура составляла 3000 кг/сут, всего за поход ее израсходовано 155 т.

Зарядки двух групп аккумуляторных батарей проводились по регламенту через 10 сут. Всего было произведено 5 зарядок с израсходованием около 700 л дистиллированной воды.

Нормально работала в процессе плавания АПЛ система вакуумирования необитаемых помещений. Вакуум поддерживался в пределах 10–250 мм рт.ст. Компрессор системы в среднем запускался через 5 ч на 10–15 мин, а стравливание давления в баллонах системы с 70 кгс/см² производилось через 33 ч только в подводном положении корабля.

Без замечаний работала и система кондиционирования воздуха. До температур забортной воды ниже +20 °С в действии находилась холодильная машина Э-320 со всеми включенными группами сопел, при более высоких температурах забортной воды включалась и холодильная машина Э-250 также со всеми группами сопел. Средние за время похода значения температуры и влажности воздуха по отсекам приведены в табл. 6.

Таблица 6

Параметры	Номер отсека								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Средняя температура воздуха, °С	23,5	24,0	26,5	29,5	22,0	29,0	22,5	23,0	24,0
Средняя влажность воздуха, %	54,0	52,5	47,0	42,0	40,0	39,0	45,0	50,0	52,0

Случаев срыва работы гидроприводов из-за сбоя в системе гидравлики корабля во время похода не было. Наибольшая зафиксированная температура масла в системе составила 32 °С, пополнения системы маслом при плавании не потребовалось.

Поскольку плотность забортной воды в процессе похода менялась в зависимости от района плавания и температуры воды (диапазон изменения плотностей — от 1,028 до 1,022 г/см³), один раз в сутки производилась поддифферентовка АПЛ. Замечаний по работе системы дифферентовки не было.

Воздух высокого давления расходовался на нужды системы воздуха среднего давления, устройств для удаления контейнеров и выброса имитационных и сигнальных патронов. В среднем за сутки расход воздуха составил 0,5 % его объема. Запасы воздуха высокого давления во время похода пополнялись один раз при работе компрессоров ЭК-10 через устройства для работы их под водой. Эти же компрессоры один раз в сутки использовались для поддержания регламентного давления в отсеках, которое повышалось в среднем на 2 мм рт.ст. в час за счет утечек в системах воздуха высокого и среднего давлений и при работе соответствующих потребителей.

Что касается подготовки теплоносителей для энергоустановки, то подпиток первого и третьего контуров во время похода не потребовалось. Питательной воды, как уже указывалось, было приготовлено 155 т со средним содержанием солей до 0,2 мг/л и хлор-иона менее 0,05 мг/л. Проверки качества воды во втором контуре во время работы энергоустановки давали следующие средние за поход показатели за фильтрами: содержание солей - до 0,45 мг/л, хлор-иона - менее 0,05 мг/л. В цистернах питательной воды солесодержание было выше и доходило до 1,2 мг/л.

Навигационное оборудование корабля работало достаточно надежно. Появлявшиеся небольшие неисправности (датчиков, реле) устранялись заменой этих элементов запасными.

Общий итог выполнения задач автономного похода и оценка работы материальной части корабля и его личного состава - положительные.

3.4. Научно-техническое и организационное обеспечение эксплуатации АПЛ

Развернутые в процессе разработки и строительства первой АПЛ для обоснования технических решений научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы отнюдь не были прекращены после сдачи подводной лодки флоту. Напротив, первые годы эксплуатации ее, а затем головной и серийных АПЛ пр. 627А с реакторными установками ВМ-А выдвинули целый ряд проблем, связанных прежде всего с принципиально новой энергетикой этих кораблей, а также с изготовлением ее оборудования в весьма сжатые сроки в сложных условиях только рождавшихся на базе существовавших мощностей промышленности новых отраслей - атомного машиностроения и атомного судостроения.

Как видно из предыдущих разделов, уже начальный период эксплуатации АПЛ (1958-1961 гг.) выявил в качестве первоочередных следующие основные задачи:

- увеличить вдвое реальную продолжительность кампании активных зон реакторов, а в перспективе - в 5-6 раз;
- снять существовавшие ограничения по допустимой мощности реакторов, доведя ее до номинальных значений;
- увеличить в 4-5 раз фактический ресурс работы основного оборудования и механизмов, особенно парогенераторов, насосов, теплообменников, арматуры, существенно повысить надежность этих и других компонентов реакторной установки;
- изыскать такие режимы работы ЯЭУ, которые позволяли бы при уменьшении нагрузок на наиболее напряженные ее элементы эффективно и экономично эксплуатировать установку;
- повысить безопасность, улучшить условия проведения и сократить трудоемкость и продолжительность ремонтных работ на установке.

Эти задачи потребовали для своего решения усилий большого числа организаций и предприятий, выполнявших теоретические и экспериментальные исследования, конструкторские и технологические разработки, результаты которых внедрялись в промышленность. Весьма ценную роль при этом играл наземный стенд 27ВМ, где проходила практическую проверку большинство найденных решений. Важность этих работ, необходимость активного их проведения определялись остротой проблемы обеспечения боеспособности интенсивно строящихся и вводившихся в строй атомных подводных лодок первого поколения. Так, за 1959-1961 гг. было введено 15 АПЛ, за 1962-1965 гг. - 30 АПЛ.

Задача повышения длительности кампании активных зон, включавшая в себя многочисленные физические, гидродинамические, прочностные, материаловедческие, металлургические и другие аспекты, решалась (основные исполнители: ИАЭ им. И.В. Курчатова, НИИ-8, НИИ-9, ВИАМ, ФЭИ, заводы № 12 и «А») поэтапно путем постоянного совершенствования методик физических и тепловых расчетов, развития экспериментальных исследований на критсборках, разработки нетрадиционных способов компенсации реактивности, поиска и внедрения новых конструкций и материалов твэлов, кожухов, дистанционирующих элементов и других частей ТВС, стержней АР и АЗ, технологий их изготовления, методов и средств контроля.

Большое значение для решения задачи имело введение в состав активных зон выгорающих поглотителей - сначала гомогенных, а затем в сочетании с блокиро-

ванными. Это позволило не только увеличить загрузку в реактор делящегося материала (для повышения продолжительности кампании) без «утяжеления» компенсирующего органа, но и путем рационального размещения поглотителей в ТВС, а самих ТВС с поглотителями — по сечению активной зоны обеспечить возможность качественного физического профилирования зоны для существенного (до 30 %) снижения неравномерности энерговыделения по ее объему. Были развернуты весьма напряженные теоретические и экспериментальные работы по изучению причин разгерметизации твэлов, начинавшейся во многих случаях задолго до истечения срока кампании активных зон, и по формированию на основе анализа этих причин комплекса требований к конструкции и технологии изготовления твэлов, к качеству их материалов, заготовок, полуфабрикатов, сварки, контрольных операций. Ужесточались и требования к сборке технологических каналов, их транспортировке, подготовке и установке в реакторы.

Все эти усилия начали приносить плоды. Уже в 1961 г. первоначально принятая для проектирования и, как оказалось, неоправданно малая по условиям эксплуатации АПЛ продолжительность кампании первых образцов активных зон - 750 ч была увеличена вдвое (зона ВМ-АБ). Затем в 1961-1963 гг. на АПЛ первого поколения начали поставляться зоны ВМ-1А с кампанией 2000 ч, ВМ-1АМ (2500 ч), с 1964 г. — зоны ВМ-2А (4000 ч) и, наконец, с 1969 г. — зоны ВМ-2АГ с кампанией 5000 ч. Применение в этих зонах твэлов новой конструкции привело также к сокращению почти в 2 раза потребности в высококачественных трубах по сравнению с ранее изготавливавшимися зонами, что было весьма важно в условиях резкого увеличения производства активных зон для интенсивно строившихся АПЛ. Для активных зон со значительно увеличившимися кампаниями потребовались и термостойкие с большей поглощающей способностью материалы для стержней АР и АЗ. Результатом проведенных разработок и исследований, в том числе и в реакторных условиях, стало изготовление заводом «А» и внедрение на реакторах АПЛ стержней с новыми материалами - бористой сталью, сплавов с редкоземельными элементами и др.

Подверглись модернизации и приводы исполнительных механизмов СУЗ. Так, с 1959 г. для перемещения компенсирующих решеток в реакторах начали применяться разработанные конструкторами завода № 92 и ОКБ-12 более надежные приводы с шариковинтовыми парами, а механизмы с часто застревавшими в гильзах тросиками (на них крепились стержни АЗ) были заменены реечными. Позднее были созданы и успешно эксплуатировались на нескольких АПЛ герметичные приводы, рассчитанные на рабочее давление в первом контуре. Внедрение усовершенствованных приводов позволило резко уменьшить количество отказов исполнительных механизмов СУЗ, а с 1968 г. полностью исключить их.

Параллельно с этими работами в НИИ-8, ИАЭ им. И.В. Курчатова, ФЭИ велись интенсивные теоретические и экспериментальные исследования теплотехнических особенностей активных зон, в первую очередь возможностей увеличения запасов до критических тепловых нагрузок на твэлы и запасов до температур кипения воды при рабочих давлениях теплоносителя. По мере развития этих исследований и накопления данных о работе реакторов на АПЛ расширялось и понимание важности учета влияния разнообразных отклонений характеристик твэлов и ТВС и эксплуатационных параметров от их номинальных значений на обеспечение теплотехнической надежности активных зон. Большое внимание уделялось также анализу гидравлического тракта реактора для

выявления перетечек теплоносителя внутри него и достоверной оценке реальных расходов воды через ТВС. Выполненные работы в сочетании с физическим профилированием дали возможность более чем на 20 % снизить мощности самых теплонапряженных ТВС и соответственно увеличить в них запасы до кризиса теплообмена. Главным же результатом комплекса физических и теплотехнических исследований стало снятие с 1964 г. ограничений по допустимой мощности реакторов с усовершенствованными активными зонами.

Решение задачи существенного увеличения ресурса работы и повышения надежности оборудования и трубопроводов энергоустановки также потребовало проведения значительных НИОКР. Их выполняли как разработчики оборудования, так и специализированные организации — ЦНИИ-48, ЦНИИ-45, ЦНИИЧермет и др. В числе этих НИОКР:

- создание необходимых стендов и изучение с их помощью влияния интенсивности и энергетического спектра потока нейтронов на поведение материала корпуса реактора — стали 48-ТС-1, исследования свойств образцов этой стали, облученных на стенде 27ВМ интегральными потоками нейтронов, соответствующими штатным. Эти работы дали возможность гарантировать не менее 30 тыс. ч работы корпуса реактора;

- широкомасштабные исследования причин потери герметичности оборудованием и трубопроводами первого контура, позволившие установить, что основными из этих причин являются интенсивная коррозия аустенитных сталей под напряжением в присутствии хлоридов и кислорода, ходовые вибрации трубопроводов, воздействие резких изменений температур, вызванных нерасчетными режимами эксплуатации, недостаточно высокое качество поставляемых конструкционных материалов и их сварки. Были предложены и первоочередные меры для предотвращения указанных явлений. В частности, в трубопроводах и трубопроводной арматуре запрещалось использование труб с толщиной стенки менее 2,5 мм; исключались возможности их контактов с хлоросодержащими материалами и средой; значительно сокращалось число импульсных труб малых диаметров; допускалось применение только электрохимполированных труб с обязательным перископным осмотром их внутренних поверхностей; ужесточались меры по предотвращению «прижогов» труб при сварке и повреждений при монтаже; предусматривалась отстройка частот собственных колебаний трубопроводов от частот ходовых вибраций; в арматуре использовались только многослойные сильфоны;

- совершенствование конструкции и технологии изготовления гильз стержней СУЗ.

Наиболее острой проблемой была явно недостаточная работоспособность парогенераторов из-за потери герметичности их трубными поверхностями. В первые годы эксплуатации выход из строя отдельных секций ПГ происходил уже через 500-700 ч работы (в отдельных случаях через 250 ч), что, естественно, существенно ограничивало возможности использования АПЛ. Необходимые для решения проблемы исследования и разработки были развернуты по двум основным направлениям: а) поиски и внедрение методов и средств обеспечения качества теплоносителей первого и второго контуров реакторной установки (ФХИ им. Л.Я. Карпова, ИАЭ им. И.В. Курчатова, НИИ-8); б) изыскание стойких к коррозионным повреждениям материалов для труб ПГ, разработка улучшенных технологий изготовления труб, их гибки и сварки, способов более жесткого контроля качества (СКБК-189, ЦНИИ-48). Работы по первому направлению включали ряд этапов, в т.ч. замену воздуха в компенсаторах объема первого

контура сначала гелием, а затем азотом, что обеспечило «автоматический» с избытком аммиака в воде водно-химический режим первого контура, поддерживаемый с помощью ионитового фильтра, разработку жестких требований к качеству теплоносителя при заполнении контуров, регламентов проверки показателей качества в процессе эксплуатации. Внедрение предложенного водно-химического режима первого контура позволило также резко снизить вынос продуктов коррозии в теплоноситель контура и соответственно активность на внутренних поверхностях его оборудования, что существенно улучшило условия проведения ремонтных работ. В состав второго контура был введен деаэратор. Повысились требования и к качеству изготовления конденсаторов турбин, откуда во второй контур могла проникать морская, с большим содержанием хлоридов, вода. Все это в совокупности хотя и уменьшило, но не исключило полностью коррозионные повреждения труб парогенераторов.

Радикально ситуация изменилась после создания в СКБК-189 и испытаний на стенде 27ВМ с последующим внедрением на АПЛ парогенераторов ПГ-14Т с трубами из титановых сплавов. Производство же ПГ-13 с трубами из аустенитной стали было окончательно прекращено в 1964 г.

Неоценима роль стенда 27ВМ и в отработке предложенных разработчиками реакторной установки вместе с научным руководством экономичных режимов использования ее оборудования и систем. К 1965 г. после исследований на стенде условий обеспечения отвода тепла в активной зоне при естественной циркуляции теплоносителя первого контура была подтверждена прямыми испытаниями возможность работы установки с одним (главным или вспомогательным) насосом первого контура. Если в работе находился вспомогательный насос, мощность установки могла быть доведена до уровня, позволяющего снабжать корабль электроэнергией, при работе же только главного насоса мощность установки позволяла АПЛ двигаться со скоростью до 15 уз. В обоих случаях расхолаживание установки обеспечивалось при естественной циркуляции теплоносителя в первом контуре. В целях экономии ресурса работы парогенератора допускался вывод из действия его отдельных секций. Были проверены также и реализованы в практике эксплуатации АПЛ режимы работы установки при сниженных параметрах теплоносителя первого контура, т.е. при рабочих давлениях 125-140 кгс/см² (вместо 200 кгс/см²) и средней (между температурами воды на входе и в исследованиях, ходят на АПЛ в автономные походы в качестве «обеспечивающих» от промышленности, разрабатывают рекомендации по совершенствованию оборудования, его монтажа, режимов работы, технологий ремонтов и т.п. Формируются и группы гарантийного надзора, в состав которых входят представители заводов-строителей АПЛ (к этому времени их начали строить и в Комсомольске-на-Амуре), бюро-проектантов кораблей (в их число вошло и ЦКБ-18), заводов-поставщиков оборудования. В необходимых случаях к работам этих групп привлекаются сотрудники научно-исследовательских и конструкторских организаций. Ведомства и ВМФ организуют выезды на базы АПЛ представительных и облеченных полномочиями комиссий для проверки состояния энергоустановок, обеспеченности баз необходимым оборудованием, запасными частями, энергией, уровня подготовленности личного состава и ремонтного персонала, их бытовых условий, для выработки и реализации мер по устранению выявленных недостатков.

В начале 1960-х годов по инициативе Управления судовых установок Минсредмаша, поддержанной проектантами энергоустановок, начинают разрабатываться и вводиться

в действие специальные нормы и правила по ядерной и радиационной безопасности ЯЭУ, качеству, проверке свойств и условиям приемки используемых в них конструкционных и сварочных материалов, заготовок и полуфабрикатов, соблюдению регламентов технологических процессов изготовления оборудования, подготовки и сварки трубопроводов, применению методов и средств контроля, обеспечению качества теплоносителей. В частности, были созданы:

- основные положения по сварке нержавеющей сталей и правила контроля сварных соединений;
- нормы качества воды первого, второго и третьего контуров;
- условия на поставку материалов, механизмов, приборов и оборудования для специальных судов;
- положение о порядке разработки, изготовления и испытаний опытных и головных образцов новых механизмов, оборудования и приборов;
- руководство по проведению межведомственных испытаний опытных и головных изделий;
- основные положения по обеспечению ядерной безопасности судовых реакторов;
- временные нормы для гидравлических испытаний на прочность и плотность;
- временное положение об основных требованиях по обеспечению чистоты и о порядке вскрытия и закрытия внутренних полостей оборудования и трубопроводов основных контуров атомных ППУ;
- временные нормы по радиохимическому контролю за состоянием активных зон судовых водо-водяных реакторов;
- гигиенические нормы и требования по проектированию подводных лодок.

Выполнение требований этих документов (круг их постепенно расширялся) стало обязательным для проектантов и изготовителей всех, в том числе и вновь разрабатываемых, корабельных ЯЭУ, а также для контрольно-приемного аппарата ВМФ, личного состава АПЛ и ремонтного персонала. В дальнейшем документы совершенствовались, приобретая статус государственных и отраслевых стандартов.

3.5. Аварии на АПЛ «К-3»

В 1960 г. при нахождении лодки в доке в период ремонта АПЛ на заводе № 402 в Северодвинске из-за нарушения правил техники безопасности — совмещения сварочных работ с работами по восстановлению резинового покрытия корпуса лодки — произошло возгорание этого покрытия. Развитие пожара (выгорело не более 10 м² резины) было предотвращено энергичными действиями членов экипажа АПЛ и пожарной службы завода. Пострадавших не было.

В сентябре 1967 г. при возвращении из автономного плавания (на 56-е сутки похода) в первом отсеке АПЛ, находившейся в Норвежском море в подводном положении, возник пожар. Его наиболее вероятной причиной явилось воспламенение от искры работавшего в отсеке электрооборудования паров масла марки АУ — рабочей среды системы гидравлики, недопустимая концентрация которых образовалась в результате утечек из гидроцилиндра машинки вентиляции цистерны главного балласта № 2 на правом борту. При выходе личного состава из аварийного отсека пожар распространился и на всю длину верхней части второго отсека. Горение сопровождалось интенсивным

выделением угарного газа, концентрация которого в загерметизированных 1-м и 2-м отсеках по пробам, взятым после возвращения на базу, составляла 1,28 %, а содержание кислорода и углекислого газа — по 10 %. Принятые экстренные меры — аварийная тревога, всплытие АПЛ, попытки потушить пожар средствами корабля, вентилировать отсеки через люк 3-го отсека, использовать изолирующие аппараты для личного состава и др. — не сумели уберечь экипаж подводной лодки от потерь. Жертвами пожара стали 39 человек. Расследование произошедшего показало, что действия командования АПЛ по локализации пожара большой интенсивности были адекватными ситуации, позволили сохранить работоспособность остальной части экипажа, а самой лодке возвратиться на базу своим ходом. В последующем из-за высокой пожаро- и взрывоопасности масла АУ оно было заменено в системах гидравлики подводных лодок специально разработанными негорючими жидкостями.

В феврале 1975 г. на АПЛ при нахождении ее на полигоне боевой подготовки в подводном положении в 7-м отсеке произошло короткое замыкание в пусковой станции резервного питательного насоса. По командам с центрального поста была объявлена аварийная тревога, осуществлено всплытие лодки, станцией ЛОХ отсека подан огнегаситель. Развитие аварии удалось предотвратить. Ее причиной стали грубейшие нарушения правил эксплуатации электрооборудования старшим группы электриков, проводивших работы на необесточенной станции. Они остались живы, но получили значительные ожоги.

Наконец, еще один пожар на лодке, к счастью, не имевший серьезных последствий, произошел в январе 1981 г. при нахождении АПЛ на судоремонтном заводе. Пострадавших при пожаре не было, выгорели только замененные во время ремонта кабельные трассы электротехнического отсека.

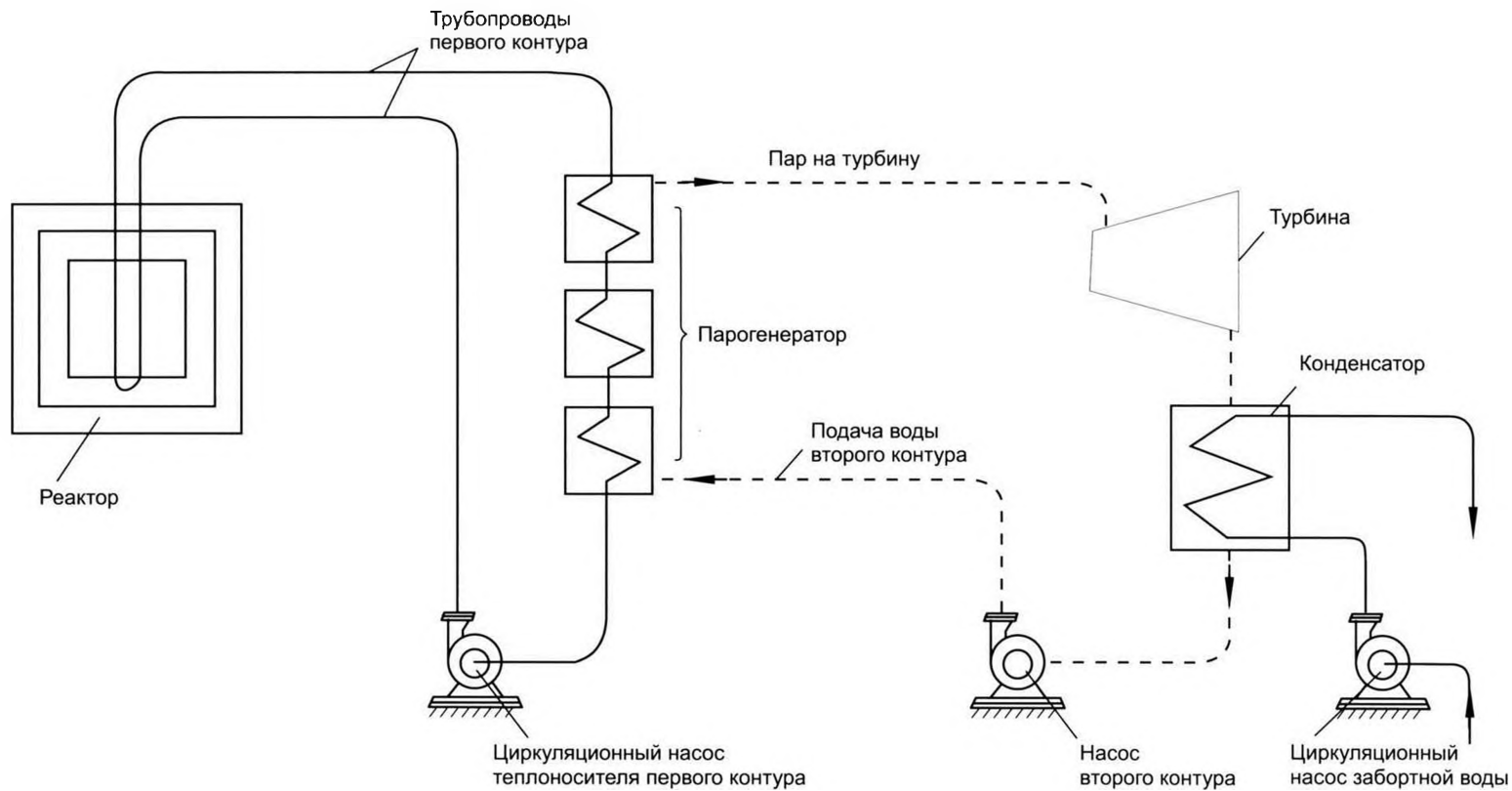


Рис. 1. Принципиальная схема ЯЭУ (предсказный проект)

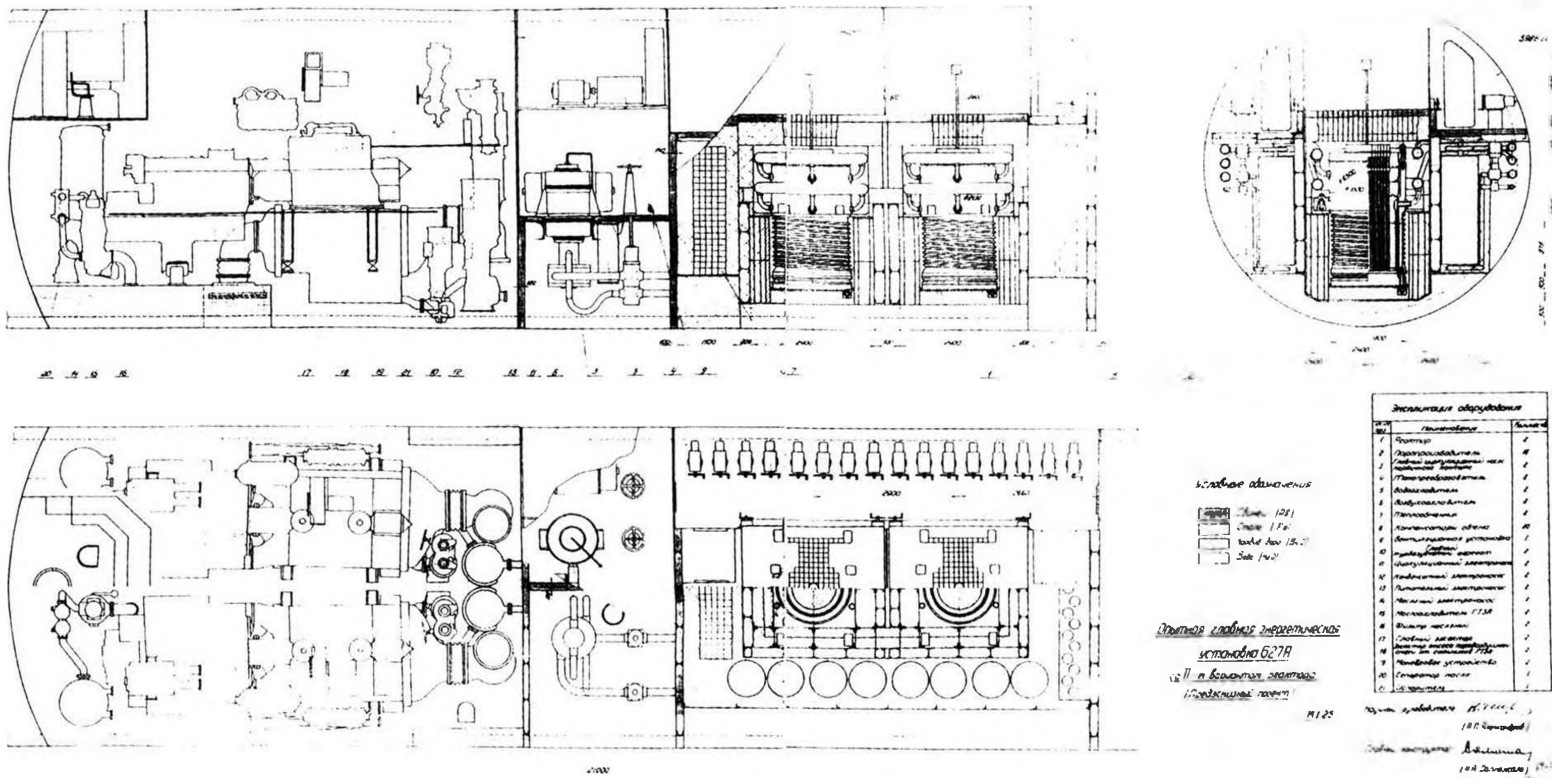
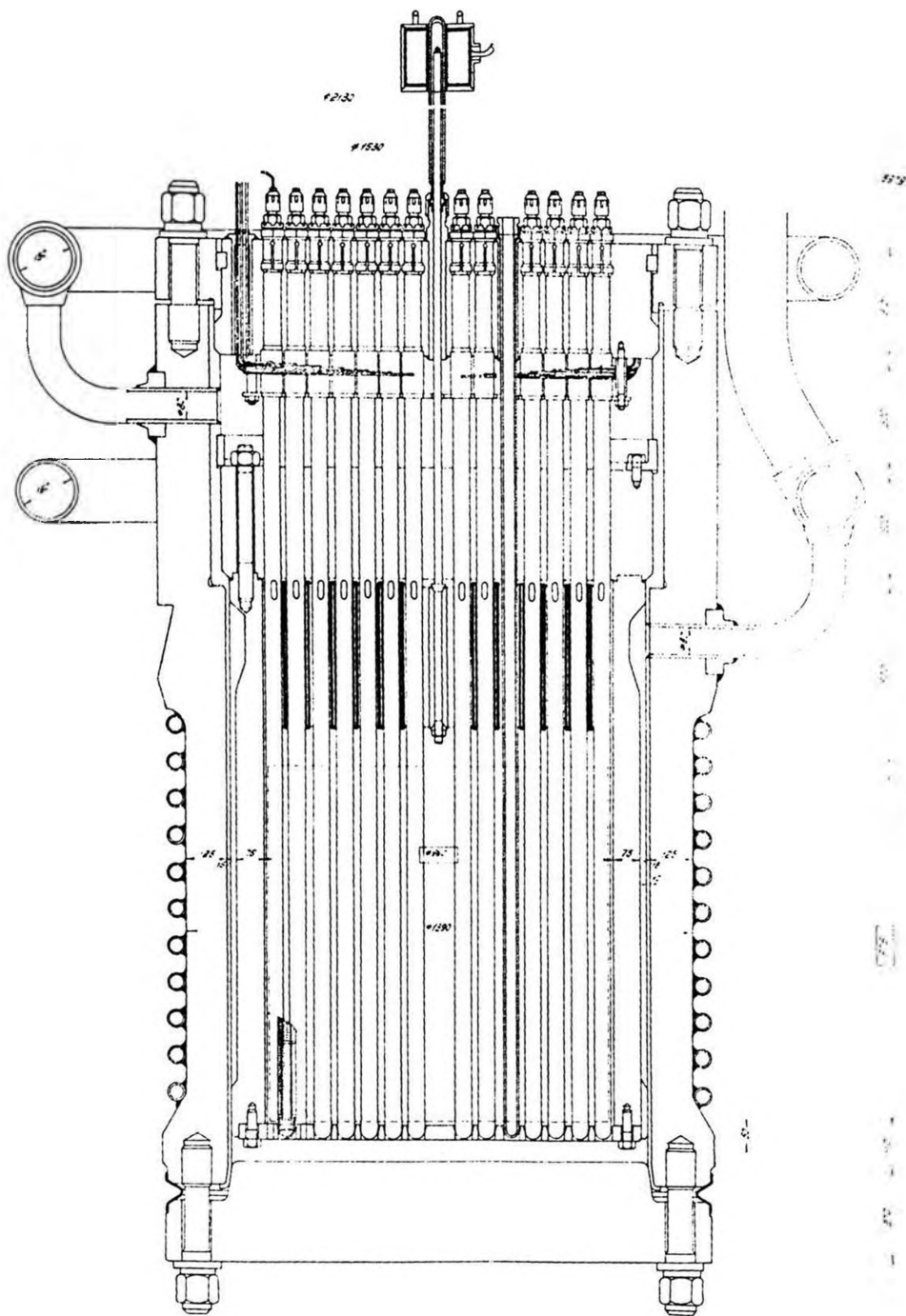


Рис. 2. Компонка ЯЭУ. Продольный разрез, план, поперечное сечение (предэскизный проект)



#1530

*Реактор [II вариант]
опытной главной энергетической
установки БЭГА
[Предэскизный проект], М1-5*

Рис. 3. Реактор ВМ. Продольный разрез (предэскизный проект)

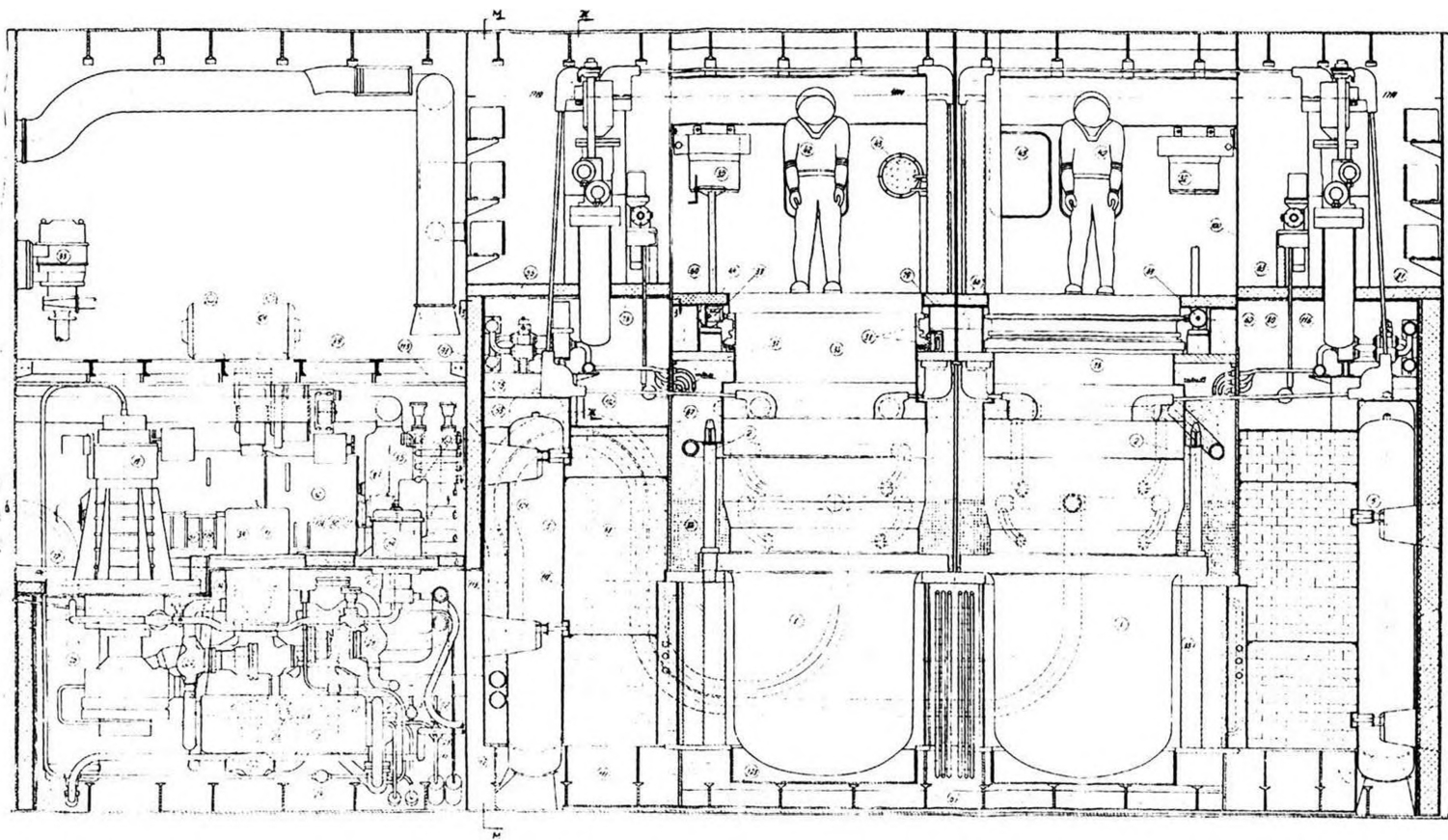


Рис. 4. Компоновка ППУ в отсеке. Продольный разрез (технический проект)

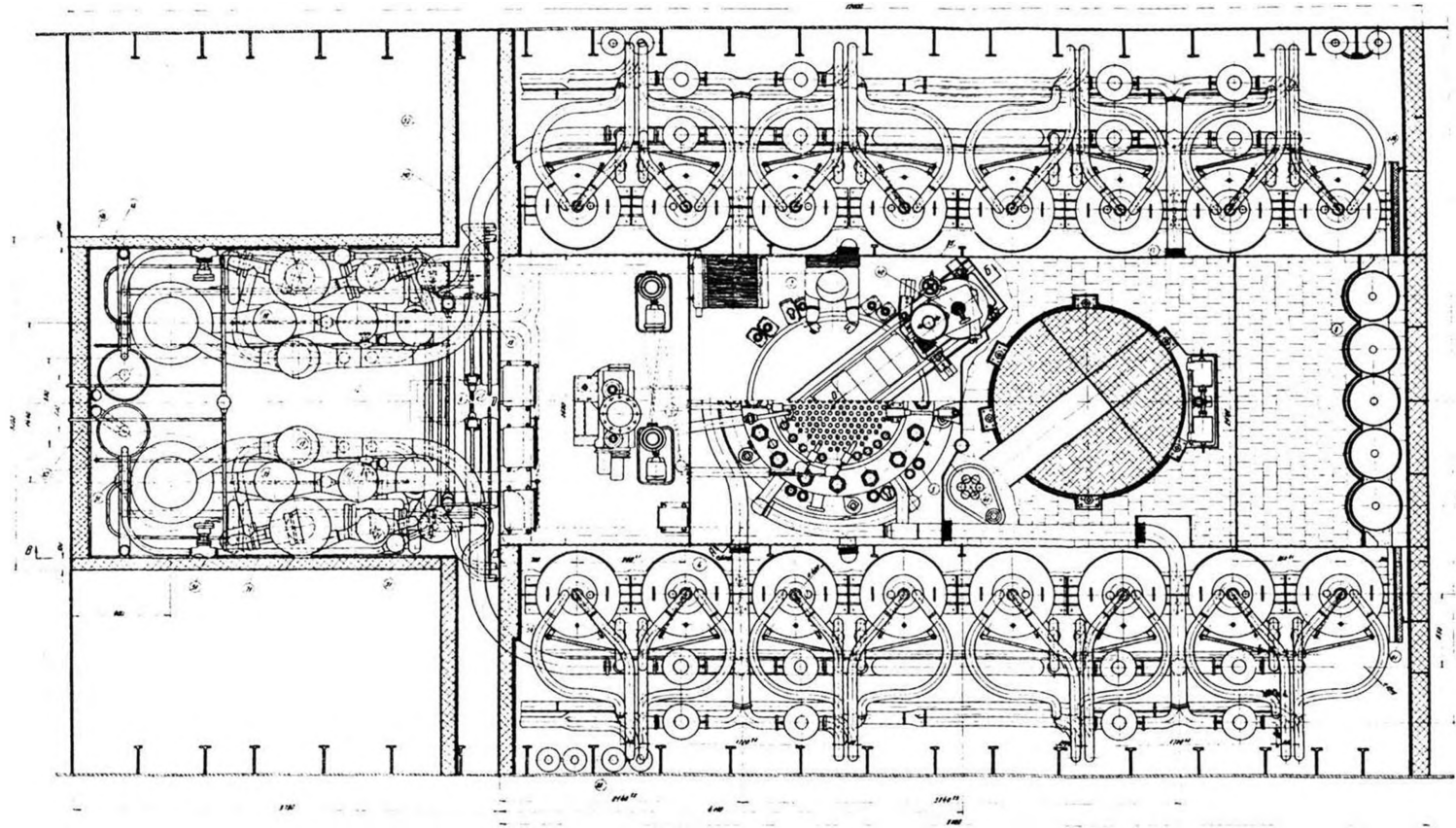


Рис. 5. Компоновка ППУ в отсеке. План (технический проект)

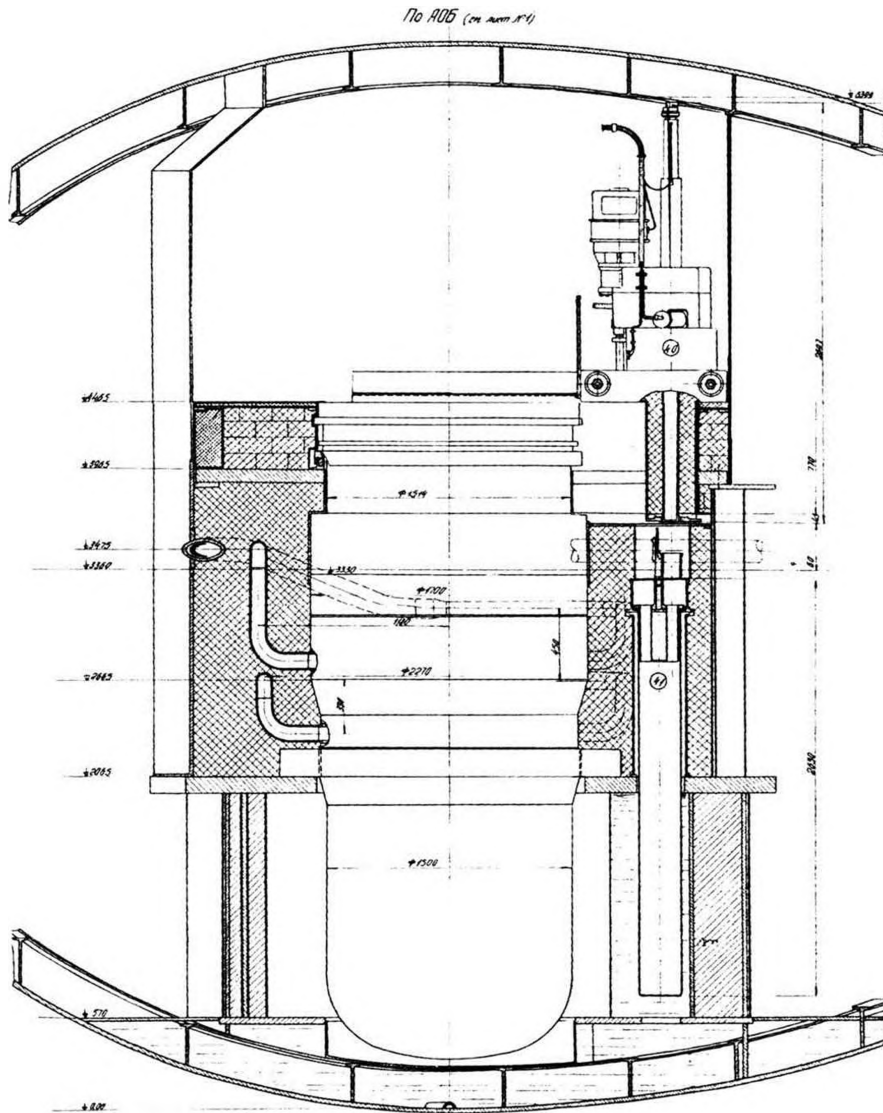


Рис. 6. Компоновка ППУ в отсеке. Поперечный разрез (технический проект)

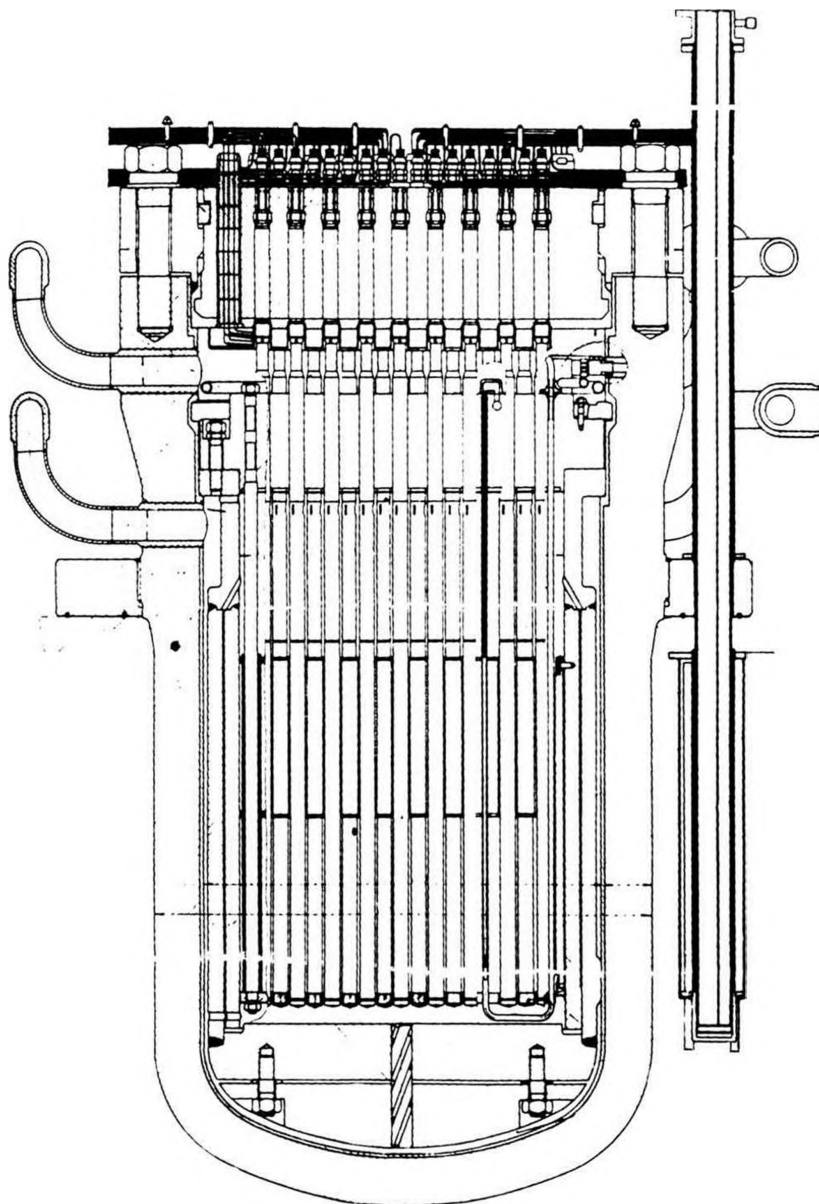


Рис. 7. Реактор ВМ. Вариант с цельносварным корпусом. Продольный разрез (технический проект)

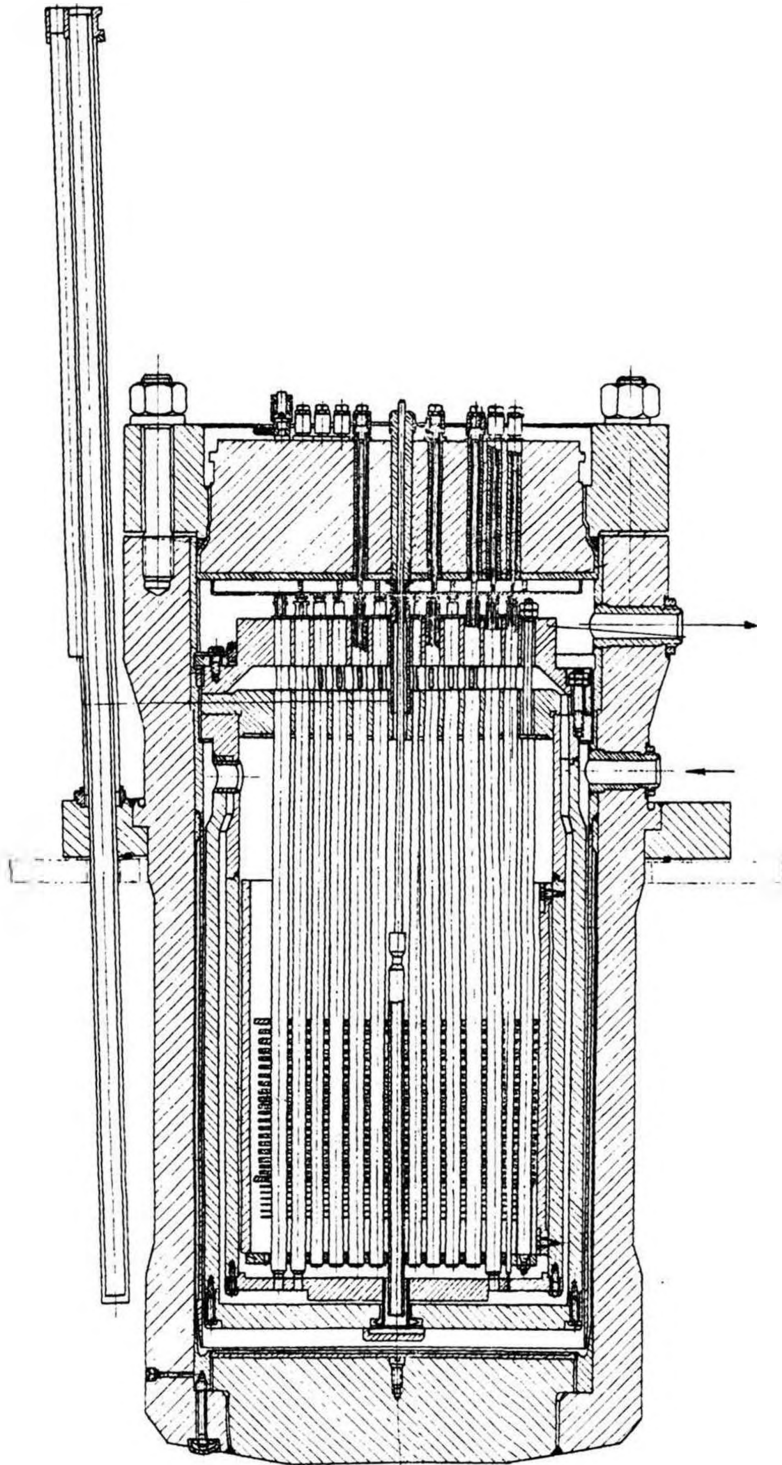


Рис. 8. Реактор ВМ. Продольный разрез (технический проект после корректировки)

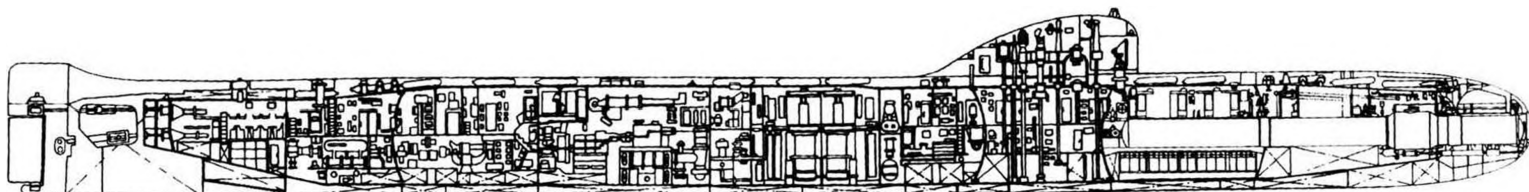


Рис. 9. АПЛ пр. 627. Общее расположение. Продольный разрез (технический проект до корректировки)

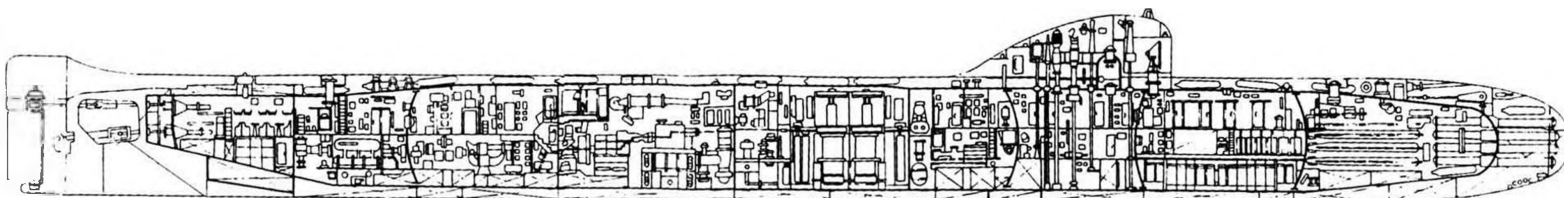


Рис. 10. АПЛ пр. 627. Общее расположение. Продольный разрез (технический проект после корректировки)

Заключение

В предыдущих разделах рассказано об основных событиях 40-летней истории разработки, строительства и эксплуатации первой отечественной подводной лодки с ядерной энергетической установкой. Началу этой истории, ее успешному, несмотря на неизбежные для периода становления и освоения новой техники ошибки и неудачи, развитию страна обязана крупнейшим ученым-атомщикам - И.В. Курчатову, А.П. Александрову, Н.А. Доллежалю. Благодаря их дальновидности, широчайшему научно-техническому кругозору, творческим и организаторским способностям, настойчивости, усилиями многих коллективов за короткое время воплотилась в металле и заработала первая в СССР ядерная энергоустановка для подводного корабля.

Ее создание, став революционным прорывом в отечественной технике, обеспечившим изменение потенциала военно-морских сил страны:

- определило базовые подходы, принципы формирования и структуру ядерных источников энергии для последующего широкого использования на кораблях и судах;
- заложило основы новой для страны области науки и техники - корабельной ядерной энергетики, побудив рождение и бурное развитие большого круга не существовавших ранее направлений исследований, конструкторских и технологических разработок;
- инициировало развитие новых многопрофильных производств в отечественных металлургии, химии, машиностроении, кораблестроении;
- явилось школой накопления опыта работниками науки и промышленности, офицерами флота, школой подготовки новых специалистов.

Решающее влияние качества ядерной энергоустановки оказали на конструкцию и тактико-технические характеристики самой подводной лодки. Используя достоинства мощного и компактного действительно «единого» двигателя, последовательно выявляя и решая необычные и сложные технические задачи, связанные с особенностями его применения, разработчикам АПЛ под руководством В.Н. Перегудова совместно с кораблестроителями, заводами-изготовителями комплектующего оборудования, специалистами ВМФ удалось создать принципиально новый корабль, положивший начало развитию отечественного атомного флота.

* * *

...Сейчас атомная подводная лодка «Ленинский комсомол» стоит на внутреннем Иоканьгском рейде (п. Гремиха) и вместе с другими отслужившими срок АПЛ ждет своей утилизации. Вряд ли ее разделка будет правильным решением. По значению, которое имело создание первой АПЛ, она достойна быть увековеченной как одно из выдающихся достижений отечественной науки и техники.

Список сокращений

АЗ	- аварийная защита
АПЛ	- атомная подводная лодка
АР	- автоматическое регулирование
АЭС	- атомная электрическая станция
ВЦНПК	- вспомогательный циркуляционный насос первого контура
ГТЗА	- главный турбозубчатый агрегат
ГЦНПК	- главный циркуляционный насос первого контура
ГЭУ	- главная энергетическая установка (то же, что и ЯЭУ)
ДЭПЛ	- дизель-электрическая подводная лодка
КБ	- конструкторское бюро
КИП	- контрольно-измерительные приборы
КШИ	- комплексные швартовные испытания
НИИ	- научно-исследовательский институт
НИОКР	- научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы
НТС	- научно-технический совет
ПГ	- парогенератор
ПЛ	- подводная лодка
ППУ	- паропроизводящая установка
ПТУ	- паротурбинная установка
РДП	- работа дизеля под водой
СУЗ	- система управления и защиты
ТВС	- тепловыделяющая сборка
ТК	- технологический канал
ТТЗ	- тактико-техническое задание
ЭЭС	- электроэнергетическая система
ЯЭУ	- ядерная энергетическая установка

Коротко об авторах

Г.А. Гладков	- Родился в 1925 г. С 1950 г. работает в РНЦ “Курчатовский институт”, с 1956 г. – начальник сектора, а затем отдела; доктор технических наук, профессор.
А.Д. Жирнов	- Родился в 1923 г. С 1953 г. по 1991 г. работал в ФГУП НИКИЭТ имени Н.А. Доллежалея, начальник физического отдела с 1956 по 1986 гг., кандидат технических наук.
Г.А. Станиславский	- Родился в 1929 г. С 1953 г. работает в ФГУП НИКИЭТ имени Н.А. Доллежалея, начальник объектового отдела с 1980 по 1992 гг., в настоящее время – ведущий конструктор.
В.К. Уласевич	- Родился в 1931 г. С 1954 г. работает в ФГУП НИКИЭТ имени Н.А. Доллежалея, заместитель директора – главный конструктор в период 1984-1996 гг.; кандидат технических наук; в настоящее время – советник генерального директора.
Р.А. Шмаков	- Родился в 1931 г. С 1954 г. работает в СПМБМ “Малахит”, с 1962 г. – главный конструктор (с 1976 г. – главный конструктор АПЛ пр. 627, 627А, 645).

Научно-популярное издание

Г.А. Гладков, А.Д. Жирнов, Г.А. Станиславский, В.К. Уласевич, Р.А. Шмаков

ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ ПЕРВОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ АТОМНОЙ ПОДВОДНОЙ ЛОДКИ

Под ред. В.К. Уласевича

Ответственные за выпуск: *В.А. Тищенко, Т.Н. Астахова*
Редакционная подготовка: *Т.Н. Астахова, Э.В. Борисова*
Компьютерный набор: *И.М. Житкова, Н.Н. Лобачева*
Компьютерная верстка: *Т.В. Жиганшина, А.Ю. Корженкова, А.А. Куликов*
Художник *М.П. Филиппова*

Лицензия № 020480 от 28 апреля 1998 г.

Подписано в печать 17.03.03. Формат 60x84^{1/8}

Бумага офсетная Уч.-изд. л. 8,9 Тираж экз. 1000 экз.

Заказ

Изд-во "ГУП НИКИЭТ", 101000, Москва, а/я 788

Контактные тел.: 268-92-63

Отпечатано в тип. ФГУП "НИКИЭТ им. Н.А. Доллежала"

101000, Москва, а/я 788