**Корабельные атомные энергетические установки**

И.Г. Захаров, доктор технических наук, профессор, контр-адмирал; Я.Д. Арефьев, доктор технических наук, профессор, контр-адмирал; Н.А. Воронович, кандидат технических наук, капитан 1 ранга; О.Ю. Лейкин, кандидат технических наук, капитан 1 ранга

К концу 40-х - началу 50-х годов в Советском Союзе специально созданными НИИ и лабораториями были завершены фундаментальные научные исследования в области ядерной физики, результаты которых позволили перейти к решению научно-технических проблем, обеспечивающих, в свою очередь, начало разработок и реализацию конкретных проектов атомных энергетических установок.

Среди наиболее важных исследований, имевших определяющее значение для создания атомной энергетики для ВМФ и полученных по ним результатов, следует отметить работы, связанные:

- с созданием технологических процессов добычи и приготовления компонентов топливного цикла при использовании принципиально нового ядерного горючего, которое в отличие от органического топлива энергоемкостью до 10000 ккал/кг содержит, например, в одном килограмме U235 энергию 760МВт сутки (1,5х1010ккал/кг), т.е. в полтора миллиона раз больше, что практически снимает все ограничения для АЭУ по дальности и продолжительности плавания корабля;

- с теоретической разработкой и экспериментальным определением основных закономерностей взаимодействия нейтронов с ядрами, результаты которых позволили сделать вывод о возможности размещения ядерного горючего в объемах, значительно меньших по сравнению с аналогичными объемами топок на органическом топливе; - с определением основных характеристик спонтанного (сильно экзотермического) деления тяжелых ядер, в том числе среднего распределения энергии на одно деление (суммарно 200Мэв) с созданием расчета активных зон реакторов;

- с определением распределения продуктов деления, среднего числа мгновенных нейтронов, энергетического спектра нейтронов деления, данных по запаздывающим нейтронам, а также множество других характеристик процессов деления тяжелых изотопов, позволивших принимать конструктивные решения по активным зонам и системам регулирования, что обеспечивало устойчивое поддержание цепных реакций на стационарных и переменных режимах работы ядерных реакторов;

- с разработкой новых конструкционных материалов для ядерных реакторов, обеспечивающих их работу в условиях больших нейтронных потоков и других видов излучений, что позволяло создавать конструкции АЭУ на требующийся для кораблей достаточно большой срок службы;

- с разработкой теории и методов формирования биологической защиты реакторов и медико-биологических вопросов, которые позволяли решать проблемы как обитаемости плавающих объектов, так и обеспечения ядерной и радиационной безопасности транспортных АЭУ.

Решены были также и научно-технические задачи большого перечня НИОКР, которые позволили выработать систему, нормы, методы и правила проектирования корабельных реакторных установок.

Общее руководство всеми работами по атомной энергетике осуществляли академики И.В.Курчатов и А.П.Александров.

Следует отметить, что начальный этап создания корабельной атомной энергетики проходил в обстановке повышенного режима секретности, а технические задания на создание корабельных АЭУ не проходили согласования с представителями ВМФ, что требовалось в соответствии с принятым в кораблестроении порядком для всех видов новой техники и вооружения. Кроме того, всё в области корабельной атомной энергетики было настолько новым, что потребовало решения целого комплекса принципиальных научно-технических задач. В частности, было необходимо: выбрать тип и количество ядерных реакторов; определить материалы, форму тепловыделяющих элементов, тип теплоносителей для съема тепла в активной зоне и конструктивные решения, обеспечивающие его подвод и отвод; определить оптимальные параметры рабочего тела контуров и способы циркуляции теплоносителя; разработать принципы и системы управления и защиты реактора; компоновочные схемы биологической защиты, а также решить множество других задач по разработке первой корабельной АЭУ.

В результате выполненных исследований и проработок окончательно было принято решение создать два типа АЭУ для подводных лодок: с водо-водяным реактором под давлением (установка ВМ-А, наземный прототип стенд 27/ВМ) и реактором, для которого в качестве теплоносителя использовался жидкий металл Pb-Bi (установка 645ВТ, наземный стенд 27/ВТ).

Создание, испытание и выбор в последующем для кораблей одного из двух типов реакторов были обусловлены стремлением как можно более обоснованно, с проверкой в корабельных условиях отработать наиболее надежный и безопасный тип реактора.

Такой путь тогда повторял, в известной мере, путь американцев, которые вначале также пошли по пути создания двух типов реакторов, с той только разницей, что в качестве жидкометаллического теплоносителя (ЖМТ) ими был принят Na (более агрессивный по сравнению с Pb-Bi), от которого после первых же испытаний, приведших к серьезным авариям, им пришлось отказаться,

Первая корабельная паропроизводящая установка (ППУ) ВМ-А разрабатывалась Научно-исследовательским конструкторским институтом энергетической техники (НИКИЭТ) под руководством академика Н.А.Доллежаля, паротурбинная установка (ПТУ) на базе ГТЗА-ТВ9 -турбинным КБ Ленинградского Кировского завода под руководством М.А.Козака, парогенераторы для установки ВМ-А - Специальным конструкторским бюро котлостроения (СКБК) Балтийского завода под руководством Г.А.Гасанова.

Разработкой АЭУ в целом руководили главные конструкторы по специальностям СКВ-143 Г.А.Воронич, П.Д.Дегтярев и В.П.Горячев. В создании первых образцов корабельных АЭУ принимало участие несколько десятков специализированных НИИ, КБ и заводов, обеспечивавших разработку и поставку комплектующего оборудования.

Изначально корабельным энергетикам для создания АЭУ первого поколения пришлось решать чрезвычайно сложную задачу из-за необходимости размещения установки в весьма ограниченных объемах, выделенных для ППУ и ПТУ, и достижения удельной массы установки в целом " 70 кг/л.с., что примерно вдвое жестче по требованиям, чем в американских установках.

В корабельном варианте АЭУ включала в себя две ППУ, в составе каждой из которых предусматривались один ядерный водо-водяной реактор ВМ-А с двухходовым движением теплоносителя по активной зоне, парогенератор, состоящий из четырех секций; главный и вспомогательный циркуляционные насосы первого контура, а также системы газа высокого давления, подпитки и аварийной проливки первого контура, воздухоудаления и отбора проб. Охлаждение оборудования ППУ обеспечивали третий и четвертый контуры. В каждой из двух ПТУ предусматривался главный турбозубчатый агрегат (ГТЗА) с обслуживающими системами.

Передача мощности от однокорпусной главной турбины на вал осуществлялась через двухступенчатый редуктор с раздвоением мощности. Подключение ГТЗА к валопроводу производилось с помощью шинно-пневматической муфты. Отличительной особенностью ПТУ первого поколения явилось использование электрогенератора с приводом от редуктора главной турбины.

Обеспечение мощности АЭУ первого поколения 17500л.с. в заданных объемах оказалось сложнейшей научно-технической проблемой и потребовало создания высоконапряженной активной зоны и прямоточных парогенераторов. По этой же причине давление в первом контуре необходимо было принять около 200кгс/см2 чтобы обеспечить параметры пара по второму контуру - давление 36кгс/см2 и температуру 310°С. В угоду уменьшения массогабаритных показателей установки были приняты “навешенные” на ГТЗА электрогенераторы.

Как показал первый же опыт эксплуатации, в том числе и опытная эксплуатация первой АПЛ, все принятые выше решения предопределили ряд серьезных недостатков установок ВМ-А, таких, как низкая надежность работы первых образцов активных зон, малый ресурс (приблизительно 1000ч) первых конструкций прямоточных парогенераторов, частые отказы в работе бессальниковых затворов (отсечной арматуры по первому контуру), сложности в управлении установкой из-за “навешенных” генераторов, неудовлетворительное качество водоподготовки по контурам, частые отказы главных циркуляционных насосов (ГЦН) и вспомогательных циркуляционных насосов (ВЦН), а также ряд других недостатков, устранение которых вылилось в необходимость решения целого ряда сложнейших научно-технических задач.

С момента начала строительства первой АПЛ к работам по ее созданию был подключен флот, в частности группу специалистов ВМФ возглавил И.Д.Дорофеев. Совместными усилиями специалистов отраслевой науки, промышленности и ВМФ на основе дополнительных экспертиз проектных решений, анализа результатов эксплуатации стенда 27/ВМ, опытной эксплуатации АПЛ проекта 627 и целой серии испытаний опытных образцов, работы по которым возглавляли, как правило, специалисты 1-го ЦНИИ МО, было сделано несколько программ по отработке и доведению основного оборудования АЭУ до уровня требований заказчика.

Большой объем работ был проделан в области повышения надежности парогенераторов и совершенствования систем водоподготовки. Было создано и испытано около двух десятков различных парогенераторов (ПГ), испытаны разнообразные материалы для трубных систем - от углеродистых сталей до титановых сплавов. Проведено множество испытаний опытных образцов ПГ. В этой работе особая роль принадлежит Г.А.Гасанову и специалистам возглавляемого им КБ.

Существенный вклад в отработку парогенераторов первого поколения внесли специалисты 1-го ЦНИИМО М.И.Киргичев. Н.А.Черноземова. В части отработки водоподготовки и отдельных механизмов много было сделано также сотрудниками 1-го ЦНИИМО А.В.Кожевниковым, А.И.Свиташовым и Г.А.Сокальским.

Работа по совершенствованию водоподготовки первого контура, выполнявшаяся в Институте атомной энергии (ИАЭ) под руководством известного специалиста Н.В.Потехина, проводилась с постановкой значительного объема экспериментальных работ и дала положительные результаты.

Работы по совершенствованию водоподготовки второго контура, включая разработку ионо- и электронно-ионообменных термостойких материалов, проводившиеся в ЦНИИ им.академика А.Н.Крылова, возглавил Л.П.Седаков, активное участие в них принимали специалисты этого института Ю.К.Душин, Р.К.Платонов, Г.Я.Рассадин. Значительный вклад в разработку инструментальных и химико-аналитических методик контроля основных показателей качества воды внесли Н.Д.Боярская, В.К.Сендо, Г.И.Ройф.

Особо следует отметить выдающуюся роль в становлении и развитии корабельной атомной энергетики первого и последующих поколений Отделения физико-технических проблем энергетики Академии наук СССР, в котором плодотворно работают известные ученые академики Н.А.Доллежаль, В.И.Субботин, А.А.Саркисов, Н.С.Хлопкин.

Венцом многотрудных усилий коллективов корабельных атомщиков Министерства среднего машиностроения, Министерства судостроительной промышленности, ВМФ и целого ряда других ведомств стало событие, которое произошло 4июня 1958г. в 10 ч 03 мин, когда впервые в истории отечественного флота опытная лодка начала движение под АЭУ. А.П.Александров, руководивший испытаниями установки, записал в вахтенном журнале: “Впервые в стране на турбину без угля и мазута был подан пар”.

Более трудной оказалась судьба второго варианта корабельной атомной энергетической установки (КАЭУ) с жидкометаллическим теплоносителем (ЖМТ).

Реализация установки с ЖМТ свинец-висмут по целому ряду ее особенностей оказалась значительно более сложной в отработке и потребовала решения таких проблем, как:

- обеспечение надежной работы активных зон при значительно более высоких температурах (до 500-600°С);

- обеспечение надлежащего качества сплава, названного в документации “технологией тяжелого теплоносителя”;

- обеспечение поддержания сплава в горячем состоянии как корабельными, так и базовыми средствами, что потребовало создания в базах специальной инфраструктуры.

Сложной оказалась и проблема обеспечения надежной работы парогенераторов с многократной принудительной циркуляцией, которые были приняты в этой установке, хотя по условиям гидродинамики в связи с наличием сепараторов во втором контуре проблема надежности трубных систем, казалось бы, должна была решаться проще, чем в прямоточных генераторах.

Очень трудно решались проблемы уплотнений насосов первого контура, в частности, обеспечение надежной работы уплотнений. Разветвленность первого контура породила и проблему “подмораживания” сплава на отдельных участках, что потребовало принятия специальных мер конструктивного плана, а также привело к значительному усложнению эксплуатации установки.

Проблема возможности безопасного замораживания-размораживания сплава так и осталась пока не решенной.

Хотя изменения объема теплоносителя за счет изменения его температуры в установках с ЖМТ на эксплуатационных режимах значительно меньше, чем в ППУ с водо-водяными реакторами (ВВР), и обеспечивается так называемыми “буферными емкостями” и схемными решениями с включением в них насосов возврата протечек, последние оказались в работе недостаточно надежными.

Перечисленные сложности значительно повлияли на оценку ППУ с ЖМТ, которая обладает, в принципе, такими неоспоримыми преимуществами, как: низкое давление в первом контуре, что делает их значительно потенциально более безопасными; возможность улучшения массогабаритных показателей (на 15-20% по сравнению с ВВР); возможность создания реакторной установки предельной безопасности и ряда других положительных качеств.

Созданный первый вариант ППУ с ЖМТ по своим выходным характеристикам мало чем отличался от ППУ с ВВР.

КАЭУ с ЖМТ в своем составе имела также два реактора, обеспечивающих генерацию пара в парогенераторах с многократной принудительной циркуляцией (МПЦ), и работу двух ГТЗА, унифицированных с ГТЗА проекта 627 и примерно той же мощности.

Начавшаяся удачно опытная эксплуатация АПЛ, к сожалению, была прервана из-за аварии одного из реакторов вследствие нарушения теплосъема в активной зоне ввиду неотработанной на тот период “технологии тяжелого теплоносителя”. Образовавшиеся “шлаки” и их несвоевременное удаление привели к нарушению циркуляции сплава в отдельных участках активной зоны.

Тем не менее, созданная установка явилась значительным шагом в деле развития корабельной атомной энергетики. Она показала принципиальную возможность реализации преимущества ППУ с ЖМТ и определила круг проблем, которые необходимо было решать в будущем при создании установок подобного типа.

Научное руководство созданием КАЭУ с ЖМТ осуществлял А.И.Лейпунский, ему помогали такие известные ученые ФЭИ, как В.И.Субботин, Б.Ф.Громов и многие другие. Главным конструктором этой установки был Б.М.Шолкович, он руководил большим высококвалифицированным коллективом конструкторов ОКБ “Гидропресс”. Большой вклад в создание КАЭУ с ЖМТ внесли специалисты энергетики ЦКБ проектанта АПЛ: П.Д.Дегтярев, В.Н.Горячев, Р.И.Симонов, В.И.Касаткин. От 1-го ЦНИИМО работу по этой установке вели В.М.Козлов, В.Ф.Акимов, от ВПМО Б.К.Данилов, Е.И.Новиков, В.И.Шарадин.

Важную роль в становлении корабельной атомной энергетики сыграла опытная эксплуатация первых АПЛ. Опытная эксплуатация атомных энергетических установок проводилась по специально разработанным программам и имела целью, прежде всего, выявление недостатков этих установок и определение мероприятий по их устранению, а также исключение подобных недостатков при создании АЭУ следующих поколений.

Руководство опытной эксплуатацией КАЭУ первых АПЛ в соответствующие периоды времени, в том числе с участием в длительных походах на них, от 1-го ЦНИИМО осуществляли И.Д.Дорофеев, Я.Д.Арефьев, В.В.Арсентьев, Я.В.Лукин, В.М.Козлов. Естественно, непосредственными организаторами выполнения программ опытной эксплуатации на первых АПЛ были командиры БЧ-5 этих лодок Б.П.Акулов, Р.А.Тимофеев, О.Л.Нагорских, В.А.Рудаков.

В тесном общении с академической наукой выросли специалисты по атомной энергетике на флоте: Л.В.Романенко, Ю.В.Михайлов, Л.В.Сухарев, В.И.Нижников, В.А.Полянский, О.В.Беклемишев, В.А.Бочаров, В.В.Балабин, Н.Д.Матюхин, Г.П.Полусмяк, Ю.С.Гладков, Н.М.Лазарев и другие. Особо следует отметить постоянные контакты А.П.Александрова с офицерами и матросами первых атомных подводных лодок. Хотя по своему статусу ему и не надо было постоянно бывать на кораблях, тем не менее, Анатолий Петрович практически большую часть этого периода часто бывал на флоте. Главнокомандующий ВМФ Адмирал Флота Советского Союза С.Г.Горшков назвал его “отцом атомного флота”, а моряки душевно и по доброму называли его “дедом”. Большая роль в организации эксплуатации энергоустановок атомных подводных лодок в этот период принадлежит М.М.Будаеву.

Практически все рекомендации, разработанные в группах опытной эксплуатации, были оформлены в виде решений ведомств и реализованы в последующих периодах эксплуатации, а также при проектировании и строительстве новых кораблей с АЭУ.

Первый опыт эксплуатации АПЛ позволил заинтересованным организациям подготовить, а Правительству уже 28 августа 1958г. принять специальное постановление о создании корабельных атомных энергетических установок второго поколения. Подготовка этого постановления велась совместно Минсредмашем, Минсудпромом и Военно-Морским Флотом. Активно участвовали в его подготовке Н.А.Николаев, Е.Д.Костыгов и А.К.Усыскин. Работы предполагалось широко развернуть в начале 60-х годов, а строительство достаточно крупных серий АПЛ и НК предполагалось развернуть во второй половине 60-х годов. Под каждый тип подводных лодок для реализации заложенных в них ТТХ, в первую очередь по скорости, требовались существенно различные мощности АЭУ. Поэтому первоначально предполагалось создание трех типов установок. Но уже на стадии технического проектирования возникло предложение обеспечить основные корабли второго поколения единой максимально унифицированной установкой. Инициаторами этого предложения выступили специалисты 1-го ЦНИИМО.

Задача была решена путем создания по существу двух модификаций ППУ, в одной из которых предусматривалось 5, а в другой - 4 полностью унифицированных парогенератора.

Необходимые мощности набирались за счет двух реакторов в ППУ ОК-ЗОО для АПЛ проекта 671 и двух реакторов в ППУ ОК-700 для проекта 667. Для АПЛ проекта 670 впервые предусматривалась однореакторная установка с ППУ ОК-350. Паротурбинные установки для АПЛ проектов 670 и 671 принимались одновальными (с ГТЗА-615 и ГТЗА-631), а для АПЛ проекта 667 - двухвальными (с ГТЗА-635), максимально унифицированными. При этом для АПЛ проекта 667 в каждой ПТУ оставался один из двух турбогенераторов, предусмотренных в одновальных вариантах. Главные турбины и турбины электрогенераторов ТГ для соответствующих проектов, где требовались меньшие мощности на полных скоростях, фактически работали не на полных, а на частичных нагрузках, что и предусматривалось проектной документацией.

Важными проблемами при создании КАЭУ второго поколения явились:

- создание максимально унифицированных установок для всех проектов АПЛ второго поколения;

- повышение агрегатной мощности на 15-70% по сравнению с АЭУ первого поколения;

- уменьшение массы и габаритов показателей на 20-30%;

- сокращение протяженности трубопроводов первого контура и максимально возможное агрегатирование ППУ, что было достигнуто за счет применения патрубков “труба в трубе” и размещения насосов первого контура на парогенераторах;

- исключение отсечной арматуры по первому контуру и принятие специальных схемных решений по недопущению переопрессовок первого и второго контуров;

- внедрение ремонтопригодных конструкций, особенно для парогенераторов, и повышение надежности, в том числе ресурса, примерно в 2 раза для установок в целом и комплектующего оборудования в частности;

- обеспечение надежного расхолаживания ППУ на естественной циркуляции с достаточно высоких уровней мощности установок;

- применение в составе КАЭУ автономных турбогенераторов;

- повышение степени автоматизации управления и контроля за работой КАЭУ и ряд других проблем.

Все перечисленные, а также целый ряд задач по улучшению безопасности, надежности, живучести, технологичности и других показателей качества и доведения их до уровня требований ВМФ в основном были выполнены.

Испытания, а также последующая эксплуатация показали, что основные проектные характеристики КАЭУ второго поколения были достигнуты, в том числе по мощности, маневренности, условиям обитаемости.

Проведенные натурные испытания подтвердили и возможность расхолаживания ППУ на естественной циркуляции с 50% мощности от номинальной. Вместе с тем в процессе эксплуатации выяснились серьезные недостатки в обеспечении работы первых образцов активных зон, парогенераторов, части трубопроводов первого контура, находящихся под биологической защитой. Для устранения этих недостатков разрабатывались новые либо дорабатывались ранее созданные конструкции, которые были внедрены в соответствующие периоды времени на всех АПЛ второго поколения.

Разработку ППУ ОК-ЗОО, ОК-350 и ОК-700 осуществляло ОКБМ, которым руководил И.И.Африкантов, а затем Ф.М.Митенков. Большие заслуги в создании этих установок, их отработке и испытаниях принадлежат высококвалифицированным специалистам ОКБМ, в том числе Е.Н.Черномордику, О.Б.Самойлову, Ю.Н.Кошкину. Научное руководство работами по созданию и обеспечению эксплуатации КАЭУ второго поколения осуществляли А.П.Александров, Н.С.Хлопкин, Г.А.Гладков, Б.А.Буйницкий.

Парогенераторы, как и для ППУ первого поколения, разрабатывались группой специалистов во главе с Г.А.Гасановым, а затем с И.А.Федоровым. Паротурбинные установки разрабатывались конструкторским бюро под руководством А.Х.Старостенко и М.А.Козака. Комплексное проектирование установок в целом осуществляли ведущие специалисты-энергетики ЦКБ-проектантов кораблей: И.Д.Спасский, И.П.Янкевич, Г.Я.Альтшулер, П.Д.Дегтярев, Р.И.Симонов, В.П.Горячев, Ю.В.Осипов, Ю.Б.Бабанский.

От 1-го ЦНИИ МО активно работали по созданию АЭУ второго поколения, в том числе осуществляя руководство межведомственными испытаниями основных видов оборудования и испытаниями установок на кораблях, В.Г.Бенеманский, Б.И.Максименко, А.А.Давыдов, И.С.Беляков, Л.И.Башкиров, А.Я.Благовещенский, от военной приемки - МО Е.Е.Фрумсон, В.Н.Казаков, Г.Н.Мордвинов.

Параллельно с решением научно-технических проблем в обеспечении создания КАЭУ АПЛ второго поколения отечественная наука решала еще две важные задачи. Первая из них была связана с обеспечением создания опытной, самой скоростной в мире АПЛ проекта 661, что потребовало от энергетиков разработки самой мощной КАЭУ. Вторая проблема заключалась в создании малогабаритной, маломощной атомной установки, которую можно было бы размещать в отдельном контейнере, “подвешивая” его в кормовой части дизель-электрических подводных лодок. Обе эти задачи в части реакторных установок решались Научно-исследовательским и конструкторским институтом энерготехники (НИКИЭТ). Для АПЛ проекта 661 была создана ППУ В-5 с водо-водяным реактором и размещенными вокруг него секциями прямоточных парогенераторов, включенных на свои гидрокамеры, соединенные с реактором патрубками “труба в трубе”. Агрегатирование каждой из двух ППУ, установленных на АПЛ, с конструкторской точки зрения, отличалось исключительной оригинальностью и смелостью проектных решений.

Принятая “плотная” компоновка и размещение оборудования затрудняли обеспечение его ремонтопригодности, однако задача сохранения работоспособности установки при отдельных отказах секций ПГ решалась за счет возможности отсечения секций в ремонтные периоды.

Руководили разработками этого проекта известные специалисты НИКИЭТ П.А.Делено, Н.П.Дорофеев. Паротурбинные установки разрабатывало КБ во главе с главным конструктором В.Э.Бергом.

Как показал опыт эксплуатации АПЛ проекта 661, ее атомная энергетическая установка оказалась достаточно надежной и в основном соответствовала предъявленным к ней требованиям. Имевшие место отдельные отказы и неисправности оборудования, в том числе и незначительные течи по первому контуру, устранялись в периоды межпоходовых ремонтов.

От 1-го ЦНИИМО работу по этой установке вели К.М.Кулагин и П.М.Христюк.

Спроектированная НИКИЭТ установка ВАУ-6 предназначалась для использования в качестве вспомогательного источника электроэнергии на дизель-электрических подводных лодках (ДПЛ) с целью обеспечения их длительного подводного хода и зарядки аккумуляторных батарей без всплытия. В установке была принята одноконтурная схема с водо-водяным реактором, работающая по прямому циклу. Турбогенератор для этой установки был разработан Калужским турбинным заводом (КТЗ), стендовые испытания, проводившиеся на специальном стенде, созданном в Научно-исследовательском технологическом институте (НИТИ), испытания установки на ДПЛ проекта 651Эв 1965г. и последующая опытная эксплуатация в период 1986-1991гг. подтвердили работоспособность этой установки, но вскрыли и целый ряд недостатков, которые затем устранялись.

Большая заслуга в создании этой установки принадлежит ведущим специалистам НИКИЭТ П.А.Деленсу, В.Н.Аксеновой. От 1-го ЦНИИ МО работы по установке вели Ю.А.Убранцев, М.А.Шкроб, С.Г.Замаховский.

Следует отметить большую роль представителей военной приемки, аккредитованных в НИКИЭТ и осуществлявших научно-техническое наблюдение и контроль за разработкой и созданием установок первого поколения, В-5 и ВАУ-6, - Ю.П.Бабина, В.М.Соловьева, А.М.Зубкова, С.М.Лосева.

Проектирование и строительство АПЛ третьего поколения потребовало создания таких корабельных АЭУ, которые по своим качественным показателям существенно превосходили бы КАЭУ второго поколения. В частности, для создания установок третьего поколения была поставлена задача повышения их мощности более чем в 2 раза по сравнению с предшествующими, но без существенного изменения массы и габаритов. При этом требовалось обеспечить более высокую по сравнению с установками второго поколения безопасность, надежность, ремонтоспособность, акустическую скрытность, маневренность. Для решения всех этих проблем разработка ППУ осуществлялась на конкурсных началах. В конкурсе принимали участие ОКБМ, НИКИЭТ, ЦНИИ им.академикаА.Н.Крылова, а также конструкторское бюро Ижорского завода.

В результате рассмотрения выполненных к 1965г. проектов научно-технический совет 1-го ЦНИИ МО с участием всех заинтересованных предприятий, а затем и НТС МСМ рекомендовали для дальнейшей разработки установку ОК-650Б-3, предложенную Особым конструкторским бюро машиностроения (ОКБМ). Руководили разработкой этой установки Ф.М.Митенков, О.Б.Самойлов, Г.Ф.Носов. Над созданием установки трудился большой коллектив высококвалифицированных сотрудников ОКБМ.

Проблема обеспечения высокой компактности установки была решена путем значительного повышения энергонапряженности активной зоны. Кроме того, была повышена энергонапряженность парогенератора, а также предусмотрено агрегатирование основного оборудования. Благодаря указанным техническим решениям удалось создать установку, парогенерирующий блок которой мог транспортироваться по железной дороге. Это позволяло изготавливать весь блок, включающий корпус реактора, парогенераторы, насосы и фильтры очистки первого контура, на машиностроительном заводе и тем самым повысить качество изготовления ответственных элементов ППУ. Для повышения надежности и безопасности установка ОК-650 Б-З была выполнена с обеспечением достаточно высокого уровня естественной циркуляции теплоносителя первого контура. Это достигалось за счет размещения парогенераторов выше активной зоны, а также значительного уменьшения гидравлического сопротивления первого контура, для чего в ОКБМ был разработан парогенератор с движением теплоносителя первого контура в межтрубном пространстве. Обеспечение естественной циркуляции теплоносителя первого контура позволяло не только осуществлять расхолаживание с использованием системы безбатарейного расхолаживания, но и работать на ходовых режимах без насосов первого контура при мощностях примерно до 30% от номинальной. Последнее дало возможность уменьшить число насосов первого контура до двух, что в определенной мере компенсировало увеличение габаритов ядерной реакторной установки (ЯРУ), вызванное необходимостью естественной циркуляции.

Для подтверждения принятых технических решений на наземном стенде КВ-1 (прототипе корабельной установки), созданном по инициативе ВМФ и МСМ, были проведены всесторонние испытания. Большая роль в создании Научно-исследовательского технологического института, где были сооружены стенды КВ-1, КВ-2, КМ-1 и др., начиная с выбора площадки для его строительства и кончая современными полномасштабными испытаниями прототипов КАЭУ, наряду с руководителями НИТИ А.Н.Проценко, Е.П.Рязанцевым, Ю.А.Прохоровым, В.А.Василенко принадлежит и специалистам 1-го ЦНИИ МО И.Д.Дорофееву, Я.Д.Арефьеву, О.Ю.Лейкину, Ю.А.Убранцеву, А.Я.Благовещенскому, С.М.Бору, В.Д.Кошеверову. В процессе испытаний были не только подтверждены основные характеристики установки, но и выявлена возможность увеличения мощности при работе на естественной циркуляции, а также скорости разогрева теплоносителя первого контура при вводе установки в действие.

Последующая эксплуатация корабельных ядерных реакторных установок (КЯРУ), начиная с 1981г., на стенде КВ-1 выявила отдельные недостатки и недоработки, касающиеся активных зон, системы компенсации давления и системы очистки, которые были впоследствии устранены, а установка в целом была модернизирована в направлении упрощения технологии изготовления и повышения энергонапряженности парогенератора.

В качестве паротурбинных установок для АПЛ третьего поколения была разработана КБ Ленинградского Кировского завода (ЛКЗ) блочная ПТУ БПТУ-675, при создании которой главной новой задачей являлось снижение ее вклада в акустическое поле корабля. Руководил разработкой М.К.Блинов.

Кроме того. Калужским турбинным заводом под руководством В.И.Кирюхина была разработана БПТУ ОК-9, к которой, помимо жестких требований к виброшумовым характеристикам (ВШХ), предъявлялись более жесткие требования и к массогабаритным характеристикам, что потребовало широкого применения титана для ее изготовления. В ЦКБ-проектантах кораблей в разработку установок в целом большой вклад внесли В.В.Енюшин, Б.В.Осипов, Р.И.Симонов, К.А.Ландграф. От ВМФ в создании БПТУ значительный вклад внесли В.Ф.Дерюгин, В.И.Васильев, Г.А.Загоскин, К.В.Васильев.

Создание крупных надводных кораблей с ракетно-ядерными и другими видами оружия настоятельно требовало разработки и внедрения на них атомных энергетических установок с целью обеспечения практически неограниченных по энергозапасам дальности и продолжительности плавания, а также высвобождения значительной доли водоизмещения для размещения авиационного, ракетного и других видов оружия. Первой, специально разработанной КАЭУ для надводного корабля проекта 1144, который был сдан ВМФ в 1980г., была установка с ППУ КН-З и ГТЗА-653. Эта установка имеет в своем составе две ППУ с ВВР и два ГТЗА мощностью по 70тыс.л.с., каждый из которых работает на свою линию вала. На корабле предусмотрены также два резервных котла производительностью 115т/ч каждый. Главными проблемами, которые приходилось решать при создании этой установки, являлись:

- разработка реакторов с единичной мощностью, существенно превышающей уже имеющиеся образцы;

- разработка комплексной системы управления КАЭУ и котлами с обеспечением возможности их совместной и раздельной работы;

- обеспечение перезарядки активных зон реакторов и ремонтопригодности КАЭУ в условиях размещения ее на надводном корабле, особенностью которого является наличие большого количества помещений и оборудования, располагающихся непосредственно над энергетическими отсеками;

- обеспечение надежности работы систем первого контура, газа высокого давления (ГВД), которые в условиях размещения на надводных кораблях оказались подверженными значительным циклическим нагрузкам, приводящим к появлению в конструкциях трещин.

Разработка ППУ КН-З выполнялась ОКБМ под руководством Ф.М.Митенкова, О.Б.Самойлова, Ю.К.Панова. Разработка ГТЗА-653 осуществлялась КБ ЛКЗ под руководством В.Э.Берга.

Активное участие в создании этой КАЭУ принимали от 1-го ЦНИИМО П.Е.Букин, А.Н.Батырев; от ЦНИИ им.академикаА.Н.Крылова - Е.В.Рыжкин, А.А.Крайнев, В.П.Постников, А.В.Воронцов, А.Г.Поздеев.

Вторым типом АЭУ, примененной на надводном корабле проекта 1941, является АЭУ с ППУ ОК-900Б и ГТЗА-688. Эта установка в максимальной степени унифицирована с установками атомных ледоколов. ППУ разрабатывались также ОКБМ, а ПТУ - КБ ЛКЗ. В связи с особенностями энергетической установки проекта 1941 (в части электроэнергетических систем и систем управления) отработка ее на комплексных швартовых испытаниях оказалась достаточно сложной. Тем не менее испытания показали, что установка практически соответствовала всем предъявленным к ней требованиям. Комплексными швартовыми испытаниями этой установки руководил представитель 1-го ЦНИИМО Б.Г.Константинов.

Институты МСП, МСМ, ВМФ и ЦКБ-проектанты кораблей постоянно осуществляли систематический анализ и обобщение опыта проектирования и эксплуатации АЭУ, проведение НИР и ОКР в обеспечение повышения качества созданных и перспективных КАЭУ. На базе этих работ велась подготовка последующих постановлений правительства (1972г., 1977г., 1986г.) о развитии корабельной атомной энергетики на соответствующие периоды. В подготовке этих решений участвовали специалисты ЦНИИ им.академикаА.Н.Крылова и 1-го ЦНИИМО.

В начале 60-х годов перед учеными и специалистами по корабельной атомной энергетике была поставлена особо трудная задача: разработать КАЭУ, которая могла бы обеспечить создание комплексно автоматизированной, высокоманевренной, высокоскоростной АПЛ минимального водоизмещения, с ограниченным количеством личного состава. Для реализации такого проекта было проведено конкурсное проектирование различных типов КАЭУ с участием самых квалифицированных в области атомной энергетики КБ и НИИ страны.

На стадии эскизного проектирования было разработано более десятка вариантов КАЭУ, из них для дальнейшей проработки приняли два принципиально различных варианта, один из которых включал в состав установок водо-водяной реактор (ВВР), а второй - реактор с жидкометаллическим теплоносителем (ЖМТ). К сожалению, выделенные в АПЛ объемы и массы для КАЭУ не позволяли разместить установку с ВВР, вследствие чего для дальнейшего проектирования утвердили установку с ЖМТ. Такое решение было принято после многочисленных усилий вписать в отведенные объемы установку с ВВР. Но эту задачу в тот период решить так и не удалось. Неоднократное рассмотрение этого вопроса на научно-технических советах различных организаций и научно-техническом совете МСМ в конце концов привело к решению о разработке для этого проекта двух типов ППУ с ЖМТ - первый ППУ ОК-550 разрабатывался ОКБМ, второй вариант БМ40А - ОКБ “Гидропресс”. В качестве паротурбинной установки была принята единая унифицированная ПТУ ОК-7.

Научное руководство проектом АПЛ и КАЭУ в целом осуществлялось академиком А.П.Александровым, научное руководство созданием ППУ с ЖМТ возглавил член-корреспондент АН УССР А.И.Лейпунский. Разработку ППУ ОК-550 возглавил И.И.Африкантов, а затем Ф.М.Митенков. Конструкторским коллективом руководил Н.М.Царев, непосредственно разработкой ППУ БМ40А - В.В.Стекольников. В разработке активных зон для обоих вариантов ППУ и научном руководстве разработками большая заслуга принадлежит Физико-энергетическому институту (ФЭИ) МСМ и его ведущим ученым и специалистам - Б.Ф.Громову, Г.И.Тошинскому, В.Н.Степанову. Разработку ПТУ ОК-7 осуществлял коллектив конструкторов, возглавляемый В.И.Кирюхиным. Большой вклад в создание АЭУ внесли Р.И.Симонов, К.А.Ландграф и другие энергетики ЦКБ-проектанта. В разработке основного оборудования в качестве ведущих специалистов или председателей межведомственной комиссии (МВК) от ВМФ активное участие принимали специалисты 1-го ЦНИИМО В.М.Паньков, Б.Г.Константинов (по реакторам), В.Ф.Акимов (по парогенераторам), П.А.Сорокин (по ПТУ), В.И.Васильев (по насосам ППУ и ПТУ). Установку в целом вел Я.Д.Арефьев, в дальнейшем - А.Ф.Зюзенков.

Опытная подводная лодка с ППУ ОК-550, построенная в Ленинграде, начала опытную эксплуатацию в декабре 1971г., а головная лодка, строившаяся в Северодвинске, вступила в состав ВМФ в декабре 1977г. В процессе разработки, строительства и накопления опыта эксплуатации в походах подводных лодок этого проекта был решен широкий спектр проблем: обеспечено создание высокоманевренной, скоростной АПЛ малого водоизмещения с сокращенной численностью личного состава; отработана высоконапряженная, большой единичной агрегатной мощности энергетическая установка; повышен на 15-20% КПД энергетической установки за счет повышения температуры теплоносителя на выходе из ядерного реактора и температуры перегретого пара; реализована невозможность распространения радиоактивности во второй контур в случае разгерметизации парогенераторов; обеспечено расхолаживание реактора без использования парогенераторов и насосов первого контура и включения каналов расхолаживания; разработаны технология и устройства для поддержания необходимой чистоты сплава свинец-висмут в первом контуре энергетической установки; впервые применена более компактная и надежная свинцово-водная биологическая защита вместо железо-водной; получена большая агрегатная мощность в компактной (блочной) с высокой степенью автоматизации паротурбинной установке, работающей на повышенных параметрах пара; созданы технические средства с существенно лучшими массогабаритными характеристиками по сравнению с образцами, разработанными для подводных лодок второго поколения; использовано централизованное управление техническими средствами с пульта главного командного поста; впервые применена комплексная система автоматизированного управления, регулирования, защиты и контроля пароэнергетической, электроэнергетической и общекорабельных систем. В энергетической установке впервые реализованы логически связанная структура программного, автоматического, дистанционного и противоаварийного управления, а также движение и стабилизация подводной лодки по курсу и глубине на ходу и без хода; впервые применена двухкаскадная амортизация всей паротурбинной установки, позволившая снизить подводную шумность корабля и повысить взрывостойкость оборудования.

Для всех поколений корабельных АЭУ одной из наиболее сложных научно-технических проблем являлась проблема создания надежных и безопасных активных зон. За весь период освоения и эксплуатации кораблей с АЭУ в реакторах паропроизводящих установок использовалось около 30 типов активных зон, отличавшихся по виду теплоносителя, составу и конструктивному исполнению элементов, физическим, теплотехническим и экономическим показателям.

Применение значительного количества вариантов активных зон было обусловлено как потребностями различных проектов реакторных установок, так и необходимостью увеличения энергозапаса и срока службы активных зон, а также сложностью решения задач повышения надежности, живучести, стойкости к внешним воздействиям, безопасности и экономичности энергетических установок. Для решения этих задач необходимо было выполнить комплексные исследования влияния на работоспособность активных зон таких факторов, как высокая энергонапряженность реакторов; значительная глубина выгорания топлива; термобароциклические и вибрационные нагрузки элементов; статические и динамические наклонения корабля.

Решение проблемы в целом требовало поиска путей совершенствования конструкций элементов активных зон, оптимизации условий их изготовления и эксплуатации, в частности, в направлениях:

создания и отработки слабораспухающих топливных и поглощающих композиций;

применения в ТВЭлах компенсационных объемов, позволяющих уменьшить воздействие на оболочку ТВЭлов распухающей топливной композиции;

разработки, испытания и внедрения новых оболочечных материалов, обладающих повышенными характеристиками пластичности, термической, коррозионно-эрозионной и радиационной стойкости в течение всего срока службы активных зон;

выравнивания полей энерговыделения за счет варьирования концентрацией топлива, оптимизации состава и пространственного размещения твердых выгорающих поглотителей;

улучшения теплогидравлических характеристик активных зон и их элементов за счет использования интенсификаторов теплообмена, увеличения теплопередающей поверхности и снижения гидравлического сопротивления;

создания и внедрения автоматизированных и высокоточных технологий изготовления активных зон и их элементов;

совершенствования средств и методов измерения и контроля показателей качества активных зон при их изготовлении и эксплуатации;

разработки и создания методов и средств диагностики и прогнозирования состояния активных зон;

проведения исследовательских испытаний на надежность перспективных активных зон и их элементов в составе наземных стендов-прототипов корабельных АЭУ и исследовательских реакторов.

Комплекс работ, выполненных проектантами и изготовителями активных зон и их элементов, НИИ, КБ и заводами Минатома РФ, Судпрома и ВМФ, личным составом кораблей и их соединений, по созданию активных зон, совершенствованию технологии их изготовления и регламента эксплуатации позволил повысить энергоресурс и срок службы корабельных активных зон в 7-15 раз, что обеспечило эксплуатацию современных кораблей с одной перезарядкой реакторов в течение полного срока службы.

Для обеспечения непрерывности ядерно-топливного цикла кораблей с АЭУ организациями промышленности и ВМФ были созданы и внедрены в пунктах строительства, базирования и ремонта кораблей системы обеспечения перезарядок реакторов, включающие плавучие и береговые технические базы с перегрузочным оборудованием и хранилищами новых и отработавших активных зон.

Следует отметить, что в процессе создания корабельных активных зон участвовали самые различные организации. Конструкторские разработки активных зон и их элементов выполнялись коллективами НИКИЭТ, ОКБМ, Всесоюзным научно-исследовательским институтом неорганических материалов (ВНИИНМ). Специалистами Минатома и судпрома во главе с А.А.Бочваром, Н.С.Хлопкиным, Г.А.Гладковым, Г.Е.Романцевым, Б.Ф.Громовым, И.И.Малых, И.П.Засориным, Е.П.Рязанцевым, В.А.Василенко, Э.Л.Петровым, Т.С.Дидейкиным, Е.П.Клочковым и З.И.Четкиной выполнен значительный объем научно-исследовательских работ по обоснованию и подтверждению главных показателей качества активных зон. Технологическая отработка и изготовление различных проектов активных зон и их элементов осуществлялись квалифицированными специалистами заводов Минатома под руководством С.И.Золотухи и А.Г.Мешкова, А.И.Адрюшина и С.А.Кузнецова. Большой вклад в создание активных зон внесен сотрудниками 1-го ЦНИИМО - Е.Т.Янушковским, И.С.Маслеником, В.И.Ивановым, В.Д.Кошеверовым, А.Н.Батыревым, В.А.Искриком, Г.А.Кузьминым, Б.И.Котовым, В.Б.Рыцевым и военной приемкой МО Б.И.Вишневским и Б.В.Вороновым.

Особое место среди проблем корабельной атомной энергетики занимает проблема обеспечения ядерной безопасности корабельных АЭУ на всех стадиях их жизненного цикла, а также при хранении и транспортировке ядерного топлива, которая заключается в необходимости исключения ядерной аварии, опасность возникновения и развития которой связана с особо тяжелыми последствиями военного, социально-политического, экономического и экологического характера.

Трудности обеспечения ядерной безопасности (ЯБ) корабельных АЭУ связаны со своеобразными особенностями корабельных реакторов (значительные энергонапряженность и масса ядерного топлива, близкие к предельным тепловые нагрузки), условиями повседневного использования кораблей, а также с возможностью их боевых и аварийных повреждений. В немалой степени уровень ЯБ зависит от надежности и живучести элементов энергетического оборудования, от наличия и эффективности специальных систем безопасности.

Следует отметить, что количество эксплуатируемых в настоящее время корабельных реакторов и их суммарная наработка (более 7500 реакторо-лет) превышают в 7-10 раз количество и наработку блоков отечественных АЭУ, что увеличивает вероятность возникновения ядерно-опасных ситуаций на кораблях ВМФ, в том числе и вследствие “старения” их оборудования. Озабоченность флота вызывает также значительное количество АПЛ, выведенных из эксплуатации.

Современной концепцией ЯБ корабельных АЭУ на всех этапах их жизненного цикла, а также при хранении и транспортировании ядерного топлива является защита личного состава, корабельного оборудования и окружающей среды путем принятия комплекса мер по исключению ядерной аварии, предотвращению ее развития. Эта концепция предусматривает реализацию на корабле, как и на АЭС, следующих трех групп фундаментальных принципов безопасности:

- первая группа принципов, связанная с управлением безопасностью, направлена на формирование и поддержание культуры безопасности, ответственности проектантов, заводов-изготовителей АЭУ (реакторной установки, их систем и оборудования), персонала судостроительных и судоремонтных заводов, личного состава кораблей, а также на создание действенной системы нормативного регулирования, надзора и проверки за деятельностью по обеспечению безопасности АЭУ;

- вторая группа принципов, связанная с созданием глубокоэшелонированной защиты, направлена на предотвращение аварий и ослабление их последствий за счет формирования барьеров на пути выхода радионуклидов и защиты этих барьеров от повреждения, обеспечение защиты персонала, населения от переоблучения при нарушении условий эксплуатации АЭУ, загрязнении окружающей среды в случае различных аварийных ситуаций;

- третья группа, связанная с обеспечением общетехнических принципов, направлена на использование апробированных инженерно-технических решений, реализацию требований проектной, технологической и эксплуатационной документации, обеспечение достоверной оценки безопасности и эффективности системы сбора, обработки и анализа информации об опыте эксплуатации корабельных АЭУ и их оборудования.

Опыт эксплуатации кораблей с АЭУ показывает, что соблюдение на них принципов самозащищенности реакторных установок и множественности защитных барьеров позволяет предотвращать выбросы радиоактивных веществ за пределы реакторного отсека и тем самым ограничить последствия аварий АЭУ и/или корабля для личного состава, населения и окружающей среды. Реализация этих принципов обеспечивается тщательным проектированием и гарантиями качества изготовления, отработанностью, надежностью и живучестью корабельных систем и оборудования, эффективным функционированием систем диагностирования и контроля их состояния, высоким уровнем подготовки и квалификации личного состава.

Состояние и уровень решения задач по обеспечению ядерной безопасности корабельных АЭУ позволяют утверждать, что организациями промышленности и ВМФ приняты, в целом, необходимые меры, направленные на исключение ядерных аварий, при этом:

- разработка и создание АЭУ и их составных частей (оборудования) регламентированы комплексом специальных стандартов и правил, а также общими техническими требованиями к кораблям, их АЭУ и реакторным установкам;

- основные типы ППУ и их составные части проходили или проходят отработку на натурных стендах-прототипах, опытных кораблях и на атомных ледоколах;

- все головные и опытные ППУ проходят межведомственные испытания (МВИ) по расширенным программам под контролем специальных межведомственных комиссий;

- проектанты кораблей и ППУ осуществляют гарантийный и периодический авторский надзор за эксплуатацией АЭУ и их составных частей;

- со стороны ВМФ осуществляется научно-техническое сопровождение и контроль качества проектирования, изготовления, монтажа, испытаний и отработки оборудования АЭУ;

- соблюдение требований и условий обеспечения ядерной безопасности корабельных АЭУ контролируется специальными органами надзора Минатома, Судпрома и Минобороны РФ;

- ввод в эксплуатацию АЭУ после строительства и ремонта корабля допускается только после проведения процедуры выдачи “Паспорта атомной установки” - сертификата (разрешения) органа Министерства обороны по надзору за безопасностью атомных установок;

- требования по обеспечению ядерной и радиационной безопасности АЭУ оговорены в эксплуатационной и ремонтной документации, руководствах и наставлениях ВМФ, перечнях ядерно-опасных работ и инструкциях на их выполнение, а также в других нормативно-технических документах;

- для повышения квалификации и качества подготовки офицерского, старшинского и рядового состава введены специальные курсы по ядерной безопасности в военно-морских училищах, учебных центрах ВМФ и отрядах специальной подготовки личного состава.

На кораблях ВМФ и технических базах проводятся инструктаж и тренировки по выполнению потенциально ядерноопасных работ, учения по отработке действий личного состава при авариях АЭУ и происшествиях, связанных с ухудшением радиационной обстановки, в том числе при хранении или транспортировании тепловыделяющих сборок (ТВС) реакторов корабельных АЭУ.

Необходимо отметить, что после каждого аварийного происшествия с АЭУ или отказа оборудования ППУ специалистами промышленности и ВМФ проводился, без промедления, тщательный анализ причин их возникновения и развития, а также определение реальных или возможных их последствий. На основе этого анализа разрабатывались и внедрялись технические и организационные меры по предотвращению такого рода аварий на всех кораблях с АЭУ, а также по локализации и смягчению последствий.

Основной вклад в решение проблемы ядерной безопасности корабельных АЭУ внесли специалисты Минатома и судпрома под руководством П.А.Деленса, В.Н.Аксеновой, Н.П.Дорофеева, В.Г.Адена, А.И.Клемина, О.Б.Самойлова, Е.Н.Черномордика, Н.М.Царева, И.И.Полуничева, 3.М.Мовшевича, В.А.Будникова, В.В.Степанова, В.А.Чистякова, Г.А.Гладкова, Б.А.Буйницкого, Г.Е.Романцова, А.И.Могильнера, Г.И.Тошинского, В.Н.Степанова, П.Д.Дегтярева, Р.И.Симонова, К.А.Ландграфа, В.В.Щеголева, И.П.Янкевича, В.В.Енюшина, И.И.Краснопольского, Р.И.Лафера, И.А.Цветкова, Н.М.Батракова, Г.П.Копылова, Н.Н.Зубова и Г.А.Кудрова.

Непосредственное и активное участие в НИОКР по обеспечению и повышению ядерной безопасности корабельных АЭУ, в работах по реализации и апробации их результатов принимали также специалисты 1-го ЦНИИ МО - Я.Д.Арефьев, Ю.А.Убранцев, Б.Г.Константинов, Е.Т.Янушовский, В.И.Иванов и С.А.Петров, а также Инспекции управления государственного надзора за ядерной и радиационной безопасностью МО - Н.З.Бисовка, Н.Н.Юрасов, Н.Г.Криницкий и Е.В.Лаухин.

В настоящее время с участием специалистов 1-го ЦНИИ МО разработаны и внедрены современные требования по обеспечению и повышению ядерной безопасности корабельных АЭУ на всех этапах их жизненного цикла, в том числе при возможных аварийных и боевых повреждениях кораблей. Для обоснования этих требований были использованы результаты анализа опыта проектирования и эксплуатации отечественных и зарубежных АЭС и кораблей с АЭУ, требования МАГАТЭ по обеспечению безопасности объектов атомной энергетики. Внедрение этих требований на эксплуатируемых АЭУ и АЭУ строящихся кораблей позволяет снизить частоту возникновения аварийных ситуаций и, следовательно, обеспечить повышение боеготовности отечественных кораблей с АЭУ и безопасности их использования для личного состава, пунктов строительства, базирования и ремонта кораблей.

Особую остроту вопросы обеспечения безопасности АЭУ приобрели для АПЛ, выведенных и выводимых из эксплуатации вследствие исчерпывания ресурса и срока службы оборудования или аварийных происшествий с ними. Массовый их вывод в резерв, на консервацию или утилизацию начался с середины 80-х годов. Вывод из эксплуатации значительного количества отечественных АПЛ как с выгруженными, так и не выгруженными активными зонами требует оперативного и эффективного решения проблемы утилизации их реакторных отсеков, сложность которой связана с такими обстоятельствами, как:

- многочисленность и разнотипность реакторных отсеков, значительные их массы и габариты;

- выработка ресурса и срока службы оборудования и систем АЭУ, систем обеспечения живучести большинства кораблей, выводимых из состава ВМФ;

- скопление значительного количества АПЛ в пунктах базирования, ремонта и временного хранения АПЛ на плаву, потенциально представляющих радиационную ядерную опасность для окружающей среды и населения;

- необходимость одновременного обновления существующей системы обращения с радиоактивными отходами;

- необходимость обеспечения современных требований по ядерной, радиационной и экологической безопасности длительного хранения АПЛ на плаву, разделки, транспортирования, хранения и утилизации их реакторных отсеков;

- необходимость унификации технологии и средств утилизации АПЛ применительно к другим типам кораблей и судов с АЭУ, а также к судам их обеспечения.

Эти обстоятельства требуют значительных единовременных и ежегодных материальных, трудовых и финансовых затрат не только на утилизацию АПЛ и реакторных отсеков, но и на подготовку и проведение работ по предотвращению возможных аварий АЭУ и ликвидации последствий имевших место аварийных происшествий, на строительство дополнительных причалов и поддержание кораблей на плаву, для сохранения работоспособности и обслуживания ряда общекорабельных систем, а следовательно, и нахождения на кораблях определенного количества персонала.

Проводимые и планируемые в рамках специальной федеральной программы работы по утилизации АПЛ и их реакторных отсеков позволят решить эту сложнейшую, но крайне актуальную проблему.

В заключение необходимо отметить, что отечественная атомная наука и техника развивались совершенно самостоятельно и во многом опередили уровень зарубежных разработок, что послужило становлению и развитию корабельной атомной энергетики и полностью обеспечило потребности кораблестроения в разработке, создании и поставках на корабли атомных энергетических установок, соответствующих предъявленным им высоким требованиям. За создание корабельной атомной энергетики многие выдающиеся ученые, конструкторы и производственники были удостоены самых высоких государственных наград, в том числе Ленинских и Государственных премий. В их числе А.П.Александров, Н.А.Доллежаль, Н.С.Хлопкин, Ф.М.Митенков, Б.М.Шолкович, Г.А.Гасанов, М.А.Козак, Л.П.Седаков, В.И.Кирюхин и многие другие. От ВМФ Ленинской премии был удостоен И.Д.Дорофеев, Государственные премии были присуждены Я.Д.Арефьеву, Л.И.Башкирову, В.Г.Бенеманскому, В.Ф.Дерюгину, Х.А.Гуревичу, А.В.Кожевникову, Ю.А.Убранцеву, Е.Т.Янушковскому, В.М.Соловьеву и М.М.Будаеву.