

## IV. Проблемы Северного Морского пути

## Опыт и перспективы эксплуатации в Арктике атомного ледокольного флота России

М.М.Кашка, Н.В. Мантула, А.В. Пономаренко,  
ФГУП «Атомфлот»

*В статье представлен краткий обзор опыта эксплуатации, текущего состояния и перспектив развития атомного ледокольного флота в обеспечение дальнейшего экономического становления арктического региона России*

За период 1959–1991 гг. в Советском Союзе было построено 8 атомных ледоколов и 1 атомный лихтеровоз – контейнеровоз. В России за период с 1991 года и по настоящее время построены еще два атомных ледокола: «Ямал» (1993 г.) и «50 лет Победы» (2007 г.).

Атомный ледокольный флот в своем развитии прошел ряд этапов.

Первый этап связан с а/л «Ленин», который продемонстрировал надежность и безопасность судовой атомной энергетики.

Ледоколу поручались проводки судов на самых тяжелых участках трассы Северного морского пути. Была подтверждена радиационная безопасность ядерной энергетической установки

ледокола, как для экипажа судна, так и для окружающей среды.

На втором этапе в строй вступили а/л «Арктика» (1975 г.) и а/л «Сибирь» (1978 г.). Они подтвердили экономическую целесообразность использования ядерных энергетических установок (ЯЭУ) на судах. Высокая надежность ЯЭУ, неограниченность районов плавания и длительности навигации обеспечили сокращение простоев ледоколов и улучшение экономических показателей их работы. Затраты на перевозку грузов по Севморпути уменьшились в связи с увеличением грузоподъемности транспортного флота, ускорением движения судов, расширением навигационного периода до круглогодичного в западном секторе Арктики.



Первый в мире атомный ледокол «Ленин»

Введен в эксплуатацию	– 03.12.1959 г.
Выведен из эксплуатации	– 1990 г.
Пропульсивная мощность	– 32 МВт
Водоизмещение	– 19240 тонн
Количество перезарядок реакторов	– 6

На ледоколе были проведены работы по вырезке образцов из оборудования реакторных установок для обследования и возможности продления срока эксплуатации АППУ действующих ледоколов



Атомный ледокол «Арктика»

Пропульсивная мощность	– 54 МВт
Водоизмещение	– 23000 тонн
Введен в эксплуатацию	– 1975 г.
Выведен из эксплуатации	
по прямому назначению	– 2008 г.
Количество перезарядок реакторов	– 7

Ядерная энергетическая установка отработала 177000 часов. На ледоколе были проведены работы по вырезке образцов из оборудования реакторных установок для обследования и возможности продления срока эксплуатации АППУ действующих ледоколов

Внедрение комплексной автоматизации управления ЯЭУ позволило исключить либо существенно сократить постоянные вахты в машинных отделениях. Опыт эксплуатации ЯЭУ и высокий уровень профессиональной подготовки персонала для атомных судов позволили уменьшить численность обслуживающего персонала практически в два раза в сравнении с численностью первого экипажа а/л «Ленин».

На третьем этапе развития атомного флота произошло расширение класса атомных судов. Была построена серия линейных двухреакторных атомных ледоколов типа а/л «Арктика»: «Россия» (1985 г.), «Советский Союз» (1989 г.), «Ямал» (1993 г.), «50 лет Победы» (2007 г.) и два мелкосидящих однореакторных атомных ледокола: «Таймыр» (1989 г.), «Вайгач» (1990 г.), а также однореакторный атомный лихтеровоз-контейнеровоз «Севморпуть» (1988 г.).

*Атомные ледоколы типа а/л «Арктика»:*

*Пропульсивная мощность* – 54 МВт  
*Водоизмещение* – 23000 тонн

*Введены в эксплуатацию:*

*а/л «Сибирь»* – 28.12.1978 г.  
*а/л «Россия»* – 21.12.1985 г.  
*а/л «Советский Союз»* – 29.12.1989 г.  
*а/л «Ямал»* – 28.10.1992 г.  
*а/л «50 лет Победы»* – 23.03.2007 г.



Атомный ледокол «Россия»  
 В эксплуатации с 1985 г.  
 Срок эксплуатации АППУ продлен до 150 тыс. часов  
 Количество перезарядок реакторов – 4



Атомный ледокол «Советский Союз»  
 В эксплуатации с 1989 г.  
 Находится в эксплуатационном резерве. Ведутся  
 работы по продлению срока эксплуатации АППУ.  
 Количество перезарядок реакторов – 3



Атомный ледокол «Ямал»  
 В эксплуатации с 1992 г.  
 Планируется продление срока эксплуатации АППУ  
 до 150 тыс. часов.  
 Количество перезарядок реакторов – 3

*Атомные ледоколы типа «Таймыр»:*

*Пропульсивная мощность* – 35 МВт  
*Водоизмещение* – 21000 тонн

*Введены в эксплуатацию:*

*а/л «Таймыр»* – 30.06.1989 г.  
*а/л «Вайгач»* – 25.07.1990 г.



Атомный ледокол «Таймыр»

В эксплуатации с 1989 г.

Срок эксплуатации АППУ продлен до 150 тыс. ч.

Количество перезарядок реактора – 6

Атомный ледокол «Вайгач»

В эксплуатации с 1990 г.

Срок эксплуатации АППУ продлен до 150 тыс. ч.

Количество перезарядок реактора – 6



Атомный лихтеровоз «Севморпуть»

Введен в эксплуатацию

– 30.12.1988 г.

Пропульсивная мощность

– 32,5 МВт

Водоизмещение

– 61000 тонн

Дедвейт

– 33900 тонн

В эксплуатации с 1988 г.

В настоящее время находится в эксплуатационном резерве.

Планируется окончательный вывод из эксплуатации.

Количество перезарядок реактора – 3

Третий этап характеризуется снижением топливной составляющей эксплуатационных расходов в связи с увеличением продолжительности работы на одной загрузке реактора ядерным топливом, повышением уровня комплексной автоматизации управления установкой, внедрением более экономичных режимов эксплуатации ЯЭУ, повышением ледопроеходимости ледоколов.

До 28 августа 2008 года эксплуатирующей организацией судов атомного флота являлось Мурманское морское пароходство, с 28 августа 2008 года – ФГУП «Атомфлот» Госкорпорации «Росатом».

Под управлением ФГУП «Атомфлот» находятся 9 атомных ледоколов и 1 лихтеровоз. Из состава ледокольного флота 3 ледокола – а/л «Ленин», «Сибирь» и «Арктика» выведены из эксплуатации. А/л «Советский Союз» и а/л «Севморпуть» после

проведения выгрузки ядерного топлива из реакторов и проведения части работ в обоснование и продление ресурсных показателей оборудования реакторных установок (РУ) были выведены в эксплуатационный резерв.

В перспективе а/л «Советский Союз» будет вводиться в строй действующих ледоколов, а а/л «Севморпуть», в связи с неостребованностью, будет полностью выведен из эксплуатации. В настоящее время в эксплуатации по прямому назначению находятся а/л «Россия», «Ямал», «50 лет Победы», «Таймыр», «Вайгач».

Эксплуатация такого сложного объекта, как ледокол, работающего в условиях вибрации и ударной тряски при прохождении ледовых полей, невозможна без периодического возникновения разного рода технических проблем. Неисправности

оборудования и систем имели место, но по установленной нормативными документами градации они все относились к различным категориям эксплуатационных происшествий и отказов. Ни одной ядерной аварии или аварийной ситуации, выбросов радиоактивных продуктов в окружающую среду сверх допустимых пределов, а также переоблучения персонала при эксплуатации реакторных установок не было ни на одном атомном судне.

Это совершенно объективное свидетельство высокой надежности и безопасности реакторных установок, обусловленное не только их проектной конструкцией и заложенными в них принципами безопасности, но и созданной системой их техни-



Центральный пост управления энергетической установки атомного ледокола «50 лет Победы». Вахтенный оперативный персонал на рабочих местах за пультами управления систем и оборудования ЯЭУ

ческой эксплуатации и обслуживания. Немалую роль в этом сыграла также высокая квалификация, профессиональный опыт и чувство ответственности, присущие членам экипажей судов атомного флота.

Ядерная и радиационная безопасность при эксплуатации судов с ЯЭУ обеспечивается не только комплексом специальных систем и оборудования, но также комплексом организационно-технических мер, выполняемых персоналом судов. Так, например, контроль за состоянием систем, важных для безопасности (защитные, локализирующие, управляющие и обеспечивающие) предполагает следующее:

- перед пуском реактора, для проверки готовности систем, важных для безопасности, проводятся их функциональные проверки;
- на работающей ЯЭУ проводятся с определенной периодичностью регламентные проверки систем, важных для безопасности, по методикам, разработанным проектантами атомной паропроизводящей установки (АППУ) и ЯЭУ. Кроме того, с целью

оценки технического состояния оборудования и систем АППУ проводятся через определенные интервалы времени нейтронно-физические испытания активной зоны реактора и теплотехнические испытания АППУ, результаты которых в составе месячных донесений с атомных судов доводятся до сведения проектанта АППУ и научного руководителя. Указанный контроль позволяет экипажу, специалистам ФГУП «Атомфлот» и заинтересованных организаций проводить сравнительный анализ технического состояния и работоспособности систем, важных для безопасности, и делать соответствующие выводы о безопасности АППУ;

- наиболее эффективным контролем является постоянный параметрический контроль за работой и состоянием ЯЭУ, который осуществляется вахтенной службой в центральном посту управления (ЦПУ) и на рабочих местах в машинном отделении и помещениях реакторного отсека.

Автоматизированные системы управления, контроля и защиты ЯЭУ, радиационного контроля позволяют вахтенному персоналу своевременно обнаружить отклонения в работе систем и оборудования, важных для безопасности, что создает необходимые условия по предотвращению аварийных инцидентов.

Обеспечению безопасной эксплуатации ЯЭУ служат установленные проектантами предельные значения эксплуатационных параметров для различных состояний установки. В случае достижения одним или несколькими параметрами пределов нормальной эксплуатации системы контроля за работой и состоянием ЯЭУ выдают предупреждение вахтенному персоналу об отклонениях от нормального режима для принятия необходимых действий по приведению в норму режима эксплуатации.

На всех ледоколах, достигших или превысивших 30 лет эксплуатации, во всех помещениях, кроме помещений контролируемой зоны, уровни радиации не превышали естественного фона. Выбросы радиоактивных газов и жидкостей в окружающую среду практически отсутствуют, что подтверждается регулярными проверками государственных надзорных органов.

Средняя индивидуальная годовая доза облучения членов экипажей атомных судов составляет: персонал группы А – 0.73 мЗв/год, персонала группы Б – 0.17 мЗв/год.

Самыми сложными с точки зрения обеспечения радиационной и экологической безопасности являются операции по перезарядке активных зон реакторов и гидрорегулировке ионообменных фильтров I контура, когда годовые дозы персонала, уча-

ствующего в этих работах, могут возрасти на 30–40% по сравнению с дозами, полученными в годы эксплуатации судов по прямому назначению. В условиях нормальной эксплуатации атомные суда перезаряжались примерно раз в пять лет. В перспективе, за счет использования активных зон новых разработок, срок между перезарядками будет увеличен почти вдвое.

Необходимо отметить, атомный ледокол (судно с ЯЭУ) – это самый сложный комплекс оборудования и систем: атомная паропроизводящая установка, паротурбинная установка (ПТУ), главная энергетическая установка (ГЭУ), система автоматического регулирования (САР), винто-рулевой комплекс (ВРК), общесудовые системы, корпус судна, навигационное оборудование и т.д. И только при высокой надежности всего оборудования и всех систем можно говорить о безопасности и высокой работоспособности атомного судна.

Можно отметить часто повторяющиеся, влияющие на работу реакторных установок, отказы или недостатки оборудования и систем. Так, одним из наиболее критических элементов РУ является парогенератор (ПГ), негерметичность трубной системы которого приводит к их отсечению и выводу из пароконденсатного цикла, снижению мощности ЯЭУ.

За весь период эксплуатации на всех ледоколах заменено 14 трубных систем ПГ и устранена негерметичность (заглушены) более 250 секций ПГ.

Работы по замене внутреннего устройства ПГ начались в 2003 году. Как показала практика, замена трубных систем ПГ не решила проблему. На 10 из 12 замененных и находящихся в эксплуатации ПГ уже пришлось устранять негерметичность. Течь «новых» ПГ стала проявляться уже при наработке 3000–5000 час. Поэтому вопрос качества изготовления ПГ стоит очень остро и требует своего детального исследования.

Атомный флот стареет. Только два ледокола (а/л «50 лет Победы» и а/л «Ямал») в настоящее время эксплуатируются, не выработав назначенный ресурс. На а/л «Россия», «Таймыр», «Вайгач» произведены работы по модернизации и продлению ресурса, что позволило их дальнейшее использование до 150 тысяч часов при работе РУ на мощности и 30 календарных лет. На а/л «Советский Союз» проведена часть запланированных работ в обоснование продления назначенного ресурса, дальнейшие работы будут продолжены в текущем и последующем году.

#### Практика продления срока эксплуатации реакторных установок атомных судов

**П**ервоначально назначенный ресурс оборудования реакторных установок составлял

50–60 тыс. часов при сроке службы 20–25 лет, а назначенный ресурс корпусов основного оборудования – 100 тыс. часов.

Результаты комплексного обследования наиболее напряженных узлов основного оборудования РУ а/л «Ленин» и других эксплуатирующихся ранее ледоколов привели к заключению, что имеются значительные потенциальные возможности для увеличения назначенного ресурса.

Металловедческие исследования главных патрубков, металла корпуса реактора не выявили существенных изменений свойств материалов или каких-либо развивающихся дефектов. Аналогичные результаты получены при ревизии других систем



Замена внутреннего устройства парогенератора. Монтаж внутреннего устройства в корпус парогенератора бригадой специализированного участка предприятия и членами экипажа атомного ледокола

и оборудования РУ. Это позволило сформулировать обоснованную методологию поэтапного продления срока эксплуатации систем и оборудования РУ до 100 тыс. часов.

Продление срока эксплуатации систем и оборудования РУ действующих атомных судов проводилось, как правило, поэтапно на 1–1,5 года по положительным результатам выполнения обследований, ревизий, осуществления ремонтных



Атомный ледокол в плановом ремонте в плавдоке завода для освидетельствования корпуса, донно-заборной арматуры и винто-рулевого комплекса

работ и расчётных обоснований в соответствии с разработанными программами.

Результаты эксплуатации атомных судов в течение продленного периода свидетельствовали о высокой надежности систем и оборудования РУ, больших проектных запасах. ОАО «ОКБМ Африкантов» в 1999 году была разработана «Программа продления ресурса до 150 тыс. часов и срока службы до 30 лет систем и оборудования РУ атомных судов». Целью программы было определение необходимого объема НИОКР для определения технического состояния и необходимости проведения ремонтных работ систем и основного оборудования РУ атомных судов, позволяющих обосновать продление срока их эксплуатации.

Результаты реализации «Программы продления ресурса до 150 тыс. часов и срока службы до 30 лет систем и оборудования РУ атомных судов»

**В** соответствии с программой:

а) были проведены металловедческие исследования образцов и элементов, вырезанных из демонтированного оборудования, арматуры и трубопроводов РУ а/л «Ленин», а/л «Арктика» и частично а/л «Вайгач»;

б) выполнены и выполняются комплексное обследование и освидетельствование систем и оборудования ЯЭУ, важных для безопасности, с применением неразрушающих методов контроля; систем безопасности с выявлением показателей надёжности, определением перечня элементов, выработавших свой ресурс и подлежащих замене, элементов, ресурс которых может быть продлен на определённый срок;

в) произведён и производится сбор, систематизация сертификационных данных о фактических механических свойствах основных и сварочных материалов, допущенных отклонениях, имевших место при изготовлении оборудования на заводах изготовителях;

г) выполнен и выполняется сбор, систематизация информации и анализ опыта эксплуатации систем, оборудования и ЯЭУ в целом с разработкой фактических и прогнозируемых моделей эксплуатации систем, оборудования и ЯЭУ;

д) выполняется анализ неисправностей, отказов, имевших место при эксплуатации ЯЭУ, и вырабатываются рекомендации по их исключению в продлеваемый и продленный период;

е) используются системы для контроля технического состояния основного металла и сварных швов оборудования и трубопроводов методами неразрушающего контроля, используются оснастка, смотровые приборы для обследования узлов, элементов оборудования, трубопроводов и биологической защиты;

ж) используются программы для проведения различных гидравлических, физических и прочностных расчетов, а также верификационные отчеты для аттестаций вновь разработанных расчетных программ;

з) выявляется дефицит безопасности, выдаются рекомендации по его устранению и предлагаются компенсирующие меры;

и) дополнительно к эксплуатационным штатным режимам используются организационно-технические мероприятия и предложения, направленные на смягчение влияния на нагруженность узлов и элементов оборудования и трубопроводов РУ;

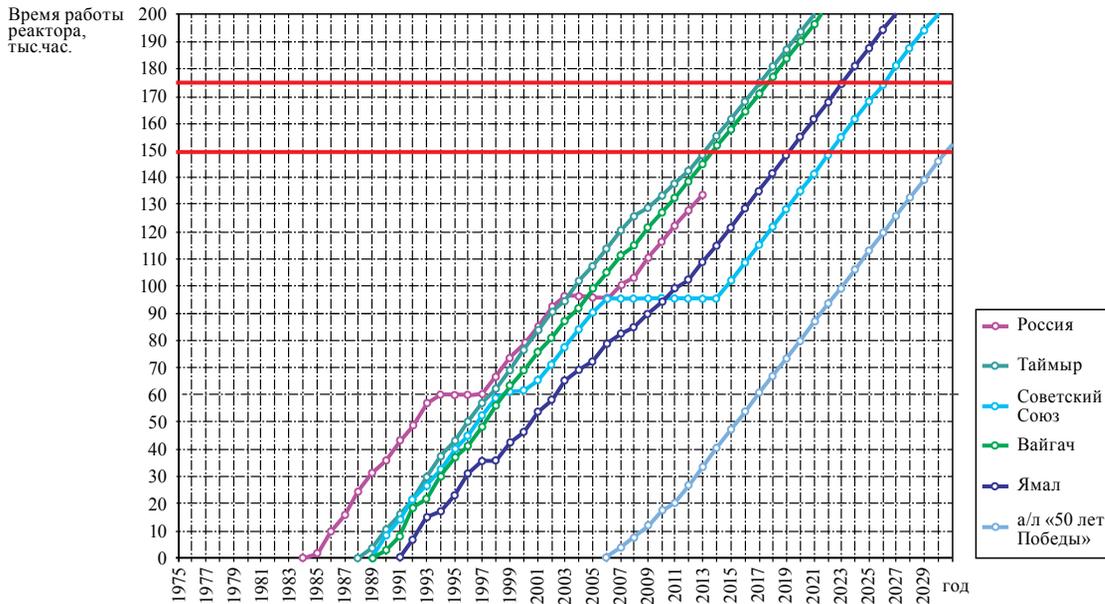
к) разрабатываются и выполняются программы управления ресурсом, которые позволяют производить корректировку моделей эксплуатации систем и оборудования ЯЭУ, важных для безопасности.

Комплексное обследование ЯЭУ и положительные результаты НИОКР, проведённые по специально разработанной «Программе продления ресурса до 175 тыс. часов и срока службы до 32 лет РУ а/л «Арктика»», позволили предприятиям-изготовителям провести комплекс работ и обосновать возможность продления срока эксплуатации РУ и а/л «Арктика» в целом до указанного значения. Модернизированный ледокол «Арктика» успешно эксплуатировался до 2008 года. Нарботка РУ ледокола составила более 177 000 часов. Этот накопленный опыт по эксплуатации и обследованию состояния оборудования и систем входит в программу продления ресурса других ледоколов до 175 000 – 200 000 часов.

На диаграмме приведена поэтапная планируемая (в календарных годах) выработка ресурса оборудования АППУ атомных ледоколов до наработки назначенных показателей 150 тысяч часов, 175 тысяч часов и 200 тысяч часов.

В составе ЯЭУ ледокола будет использоваться принципиально новая реакторная установка интегрального типа. В проекте нового универсального атомного ледокола в полной мере использованы современные достижения науки в области

Ожидаемая выработка ресурса оборудования АППУ атомных ледоколов на 01.02.2012 г.



О перспективах развития атомного флота

Учитывая то обстоятельство, что в обозримом будущем не предвидится создания на Крайнем Севере и в арктических регионах Сибири альтернативной Северному морскому пути национальной транспортной магистрали, эта трасса остается существенным фактором хозяйственно-экономического развития упомянутых регионов России.

В настоящее время коммерческая выручка от использования атомного флота не покрывает всех затрат на его эксплуатацию. Причем даже с учетом ежегодно получаемой субсидии ФГУП «Атомфлот» испытывает дефицит денежных средств и вынуждено привлекать кредитные ресурсы. Отказ от субсидии возможен не ранее 2017 года с учетом роста транзитного грузопотока по трассам Северного морского пути в связи с развитием проекта «Ямал СПГ».

С целью успешной реализации проекта «Ямал СПГ» с 2012 года планируется начать строительство серии универсальных атомных ледоколов. Начало финансирования строительства атомных ледоколов нового поколения предусмотрено в бюджете Российской Федерации с 2012 года. Программа пополнения состава атомного ледокольного флота предусматривает строительство трех двухссадочных универсальных ледоколов мощностью 60 МВт.

судовой ядерной энергетики для создания более оптимальной и экономичной РУ с высокими эксплуатационными характеристиками, ресурсной надежностью и безотказностью, учитывающей многолетний опыт эксплуатации атомных судов и удовлетворяющей ужесточившимся требованиям по безопасности, а также судостроительной технологии в части оптимизации обводов корпуса ледокола, мореходных качеств при плавании по чистой воде, маневренности во льдах, движительно-рулевого комплекса и других средств повышения ледопроеходимости.



Проект двухссадочного универсального ледокола  
 Пропульсивная мощность – 60 МВт  
 Водоизмещение – 24000 тонн