

СТАТЬИ

УДК 629.19:621.039.578

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЯЭУ НА КОММЕРЧЕСКИХ СУДАХ СЕВЕРА РОССИИ

*Митенков Ф.М., Яковлев О.А., Полуничев В.И., Панов Ю.К.
(ГУП ОКБМ им. И.И. Африкантова), Рукиша В.В. (Минтранс России),
Головинский С.А., Кашка М.М. (ОАО «Мурманское морское пароходство»)*

Значимость освоения Северного морского пути для экономического развития России признавалась давно. Достаточно вспомнить известное утверждение М.В. Ломоносова: «Богатство России будет прирастать Сибирью и Северным океаном». Но только в XX столетии началась планомерная работа в этом направлении — гидрографические исследования в Северных морях, строительство первого в мире ледокола «Ермак» и др. Интенсивность работ возросла с началом развертывания индустриализации страны. В предвоенный период было достигнуто значительное продвижение в освоении плавания в арктических широтах и развитии хозяйственной деятельности на Крайнем Севере Сибири. Севморпуть стал ключевым звеном в организации экономического подъема отсталых или неисследованных территорий Севера. В послевоенный период до середины 80-х годов XX столетия продолжалась тенденция планомерного освоения Севморпути с помощью передовых достижений науки и техники. Бесперебойная доставка в больших объемах хозяйственных грузов, вывоз горнорудных материалов, леса, нефти, газа и других разрабатываемых ресурсов стала невозможной без создания мощных ледоколов. Поэтому не случайно одним из первых направлений практического использования атомной энергии явилось создание по инициативе И.В. Курчатова и А.П. Александрова ледокола «Ленин» с ядерной энергетической установкой, поскольку строительство мощных ледоколов, необходимых для регулярного сопровождения коммерческих судов в Арктике, на органическом топливе было невозможно по технико-экономическим соображениям. Основным преимуществом ледокола с ЯЭУ является автономность плавания — исходя из запасов топлива 4—5 лет. Дизель-электрические ледоколы меньшей мощности при расходе топлива 100—130 т в сутки имеют автономность 1,5—2 мес., после чего требуется добункеровка в портах или с помощью танкеров ледового класса. Максимально возможные сроки навигации в Арктике с помощью дизель-электрических ледоколов — 6—7 месяцев в западном секторе Арктики и 3—4 — в восточном, с помощью атомоходов — круглогодично. Производительность работы атомоходов в 4 раза выше, чем ледоколов типа «Капитан Сорокин» или «Москва», и в 2 раза выше, чем ледоколов типа «Ермак».

Начиная с 1975 г., когда на основе опыта эксплуатации первенца атомного флота был спроектирован и построен атомный ледокол «Арктика» — головной в серии атомоходов второго поколения, стала очевидной перспективность технической политики в области использования атомной энергии на морском транспорте.

Первый ледокол с ЯЭУ «Ленин» был построен в короткие сроки: заложен в 1956 г., прошел швартовые испытания по полной программе и в 1959 г. передан в эксплуатацию. Его мощность на винтах 44 тыс. л.с., водоизмещение около 20 тыс. т, максимальные длина и ширина 134 и 27,6 м соответственно. Положительные результаты эксплуатации ледокола «Ленин» привели к созданию гражданского атомного флота в составе ледоколов «Ленин», «Арктика», «Сибирь», «Россия», «Советский Союз», «Ямал», «Таймыр», «Вайгач» и атомного лихтеровоза-контейнеровоза «Севморпуть» (табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Основные характеристики действующих атомных судов

Параметр	Ледокол			Лихтеровоз «Севморпуть»
	«Арктика»	«Россия»	«Таймыр»	
Длина (наибольшая), м	148	150,05	150	260,1
Ширина (наибольшая), м	30	30	29,2	32,2
Осадка (максимальная), м	11	11	9	11,8
Высота борта на миделе, м	17,2	17,2	15,15	18,3
Водоизмещение, т	23 460	23 625	18 259	61 880
Скорость хода (с грузом), уз.	18	20,6	18,5	20,8
Ледопроходимость, м	2	2,7	1,77	1
Мощность на винтах, тыс. л.с.	75	75	50	40
Число гребных винтов	3	3	3	1

Использование атомных ледоколов позволило увеличить продолжительность навигации в Арктике с 3 до 10 мес., в западном секторе Арктики транспортные операции осуществляются круглогодично. В 1977 г. ледокол «Арктика» впервые прошел до Северного полюса, в 1978 г. ледокол «Сибирь» провел торговое судно до Берингова пролива всего за 18 сут., несмотря на тяжелые льды. Высокий уровень надежности атомных ледоколов убедительно подтверждается таким бесспорным фактом: ледокол «Арктика» накануне своего 25-летия в течение года интенсивно работал на ледовой трассе без захода в порты. К настоящему времени отечественный опыт использования ЯЭУ на арктических судах насчитывает 250 реакторо-лет.

Атомные суда — составная часть Мурманского морского пароходства, которое, в свою очередь, является важнейшей частью экономического комплекса Крайнего Севера и одновременно связующим звеном между дальневосточными и западными регионами России.

Северный морской путь объединяет в единую транспортную сеть крупнейшие реки Сибири. Для некоторых районов арктической зоны (Чукотка, острова арктических морей, побережья Таймырского автономного округа) морской транспорт является единственным средством перевозки грузов, следовательно, и жизнеобеспечения населения. Традиционные направления перевозок, осуществляемые уже в течение многих лет, обеспечивают жизнедеятельность Норильского горно-метал-

лургического комбината и вывоз его продукции из Дудинки, экспорт лесных грузов из Игарки, снабжение Тикси, Певека, портов Колымы, а также других арктических портов и портопунктов всем необходимым для их жизнедеятельности (Северный завоз), внутриарктические перевозки между портами и пунктами. В перспективе к этим направлениям будут добавлены транзитные каботажные и международные перевозки грузов. Возможно также переключение грузопотоков с других направлений на трассы Северного морского пути. При освоении месторождений природного газа, нефти и газового конденсата арктических регионов появятся новые крупномасштабные грузопотоки, связанные как со снабжением пунктов добычи и переработки, так и вывозом углеводородного сырья.

Сложившаяся практика использования атомных ледоколов в настоящее время включает, в основном, районы западной Арктики: Баренцево море, районы Новой Земли, земли Франца-Иосифа, район островов Варандей и Колгуев, а также архипелаг Шпицберген. Эпизодически атомные ледоколы проводят суда в Белом море. В связи с дефицитом ледокольного обеспечения в стране атомные ледоколы в некоторых случаях направлялись для работы в морях восточной Арктики, с 1995 г. при необходимости осуществляют ледокольную проводку на всем протяжении трассы Северного морского пути и незамерзающих Арктических морей.

Для поддержания устойчивого судоходства на трассе при сложившемся в последние годы грузопотоке в объеме 1,5 млн т в год необходимо наличие в эксплуатации не менее пяти атомных ледоколов в составе трех линейных ледоколов (типа «Арктика») и двух ледоколов с ограниченной осадкой (типа «Таймыр»).

Высокая надежность работы ЯЭУ, неограниченность районов дальности плавания и длительности навигации позволили существенно уменьшить простои ледоколов и повысить экономические показатели их работы. Затраты на доставку грузов по Северному морскому пути заметно сократились в связи с увеличением грузоподъемности проводимых судов, ускорения их проводки, навигационного периода до круглогодичного в западном секторе Арктики. Внедрение комплексной автоматизации управления ЯЭУ, высокий уровень профессиональной подготовки персонала для современных атомных судов позволили существенно уменьшить численность эксплуатационного персонала в сравнении с численностью первого экипажа атомного ледокола «Ленин».

Примечательным является использование единственного в мире атомного лихтеровоза-контейнеровоза «Севморпуть». С начала работы (1989 г.) он прошел 302 000 миль, перевез более 1,5 млн т грузов, осуществив за это время лишь одну перезарядку реактора. В целях сравнения можно привести любопытные цифры. Для перевозки такого груза судам типа СА-15, осуществляющим перевозки на Дудинской линии, пришлось бы выполнить около 100 рейсов, израсходовав почти 100 тыс. т топлива.

Если отталкиваться от приведенных результатов сравнения, то есть основания считать, что при определенных условиях оптимальное использование в Арктике атомных судов должно включать и ледоколы, и суда ледового плавания типа «Севморпуть». Однако оптимальность может существенно зависеть от характера перевозимых грузов и мест их назначения.

Перспективы использования судов с ЯЭУ в Арктике. В 2001 г. утверждена Морская доктрина Российской Федерации на период до 2020 г., которая определяет

государственную политику страны в сфере морской деятельности. Цели национальной морской политики сводятся к реализации и защите интересов страны в Мировом океане. В Арктическом регионе национальная политика определяется в первую очередь необходимостью свободного выхода российского флота в Атлантический океан, а также возрастающей ролью Северного морского пути и приполярных районов для устойчивого экономического развития страны. Последовательное проведение такой политики позволит решать следующие долгосрочные задачи:

защита интересов Российской Федерации и дна морей Северного Ледовитого океана;

учет интересов государства при разведке, освоении биоресурсов и разработке минерального сырья в российской экономической зоне и на континентальном шельфе;

обеспечение национальных интересов страны при дальнейшем развитии Северного морского пути, централизованное государственное управление этой транспортной системой, необходимое ледокольное обслуживание провоза грузов, предоставление равноправного доступа заинтересованным перевозчикам, включая иностранных;

оптимальное использование транспортного флота с использованием атомных ледоколов для завоза грузов в Заполярье;

создание судов ледового класса для широких перевозок в Арктике;

строительство новых ледоколов с использованием новейших ЯЭУ с более высокими эксплуатационными характеристиками;

модернизация, совершенствование инфраструктуры для эксплуатационного обслуживания.

Очевидно, что программа перспективного развития атомного ледокольного флота должна формулироваться для решения перечисленных основных задач с учетом многолетнего эксплуатационного опыта.

К настоящему времени часть ЯЭУ действующих атомных ледоколов либо исчерпала назначенный ресурс, либо близка к этому (табл. 2).

Т а б л и ц а 2. Нарботка ЯЭУ действующих ледоколов

Судно	Год постройки	Средняя наработка в год, тыс. ч	Нарботка на 01.11. 2002 г., тыс. ч	Срок службы на 01.11. 2002 г., год	Нарботка 100 тыс. ч		Нарботка 150 тыс. ч	
					год достижения	срок службы, год	год достижения	срок службы, год
«Арктика»	1975	5,95	143	27	1990	15	2004	29
«Сибирь»	1977	6,22	95	19*	—	—	—	—
«Россия»	1985	6,88	91	17	2003	18	2014	29
«Советский Союз»	1989	6,58	70	13	2007	18	2016	27
«Ямал»	1992	6,2	58	10	2008	16	2019	27
«Таймыр»	1989	6,77	90	13	2004	15	2014	25
«Вайгач»	1990	6,53	81	12	2005	15	2016	26
«Севморпуть»	1988	6,53	75	14	2006	18	2016	28

*Эксплуатация ледокола «Сибирь» приостановлена в 1992 г.

Исследования, а также ревизия состояния основного оборудования реакторной установки ледокола «Ленин», проведенная после вывода из эксплуатации при наработке ~110 тыс. ч, подтвердили, что имеются значительные возможности для увеличения назначенного ресурса. Действительно, ревизия показала, что главные циркуляционные насосы сохраняют работоспособность. В частности, на подшипниковых опорах не выявлено заметного износа, электрические, механические и гидравлические характеристики сохранили проектные значения. Такое же состояние зарегистрировано для приводов органов управления и защиты, арматуры. Металловедческие исследования главных патрубков, металла корпуса реактора в районе активной зоны, сварного шва не выявили каких-либо развивающихся дефектов. Это позволило сформулировать обоснованную методологию поэтапного продления ресурса ЯЭУ. Так, для ЯЭУ ледокола «Арктика» при назначенном ресурсе 100 тыс. ч ресурс поэтапно продлен до 150 тыс. ч, который к настоящему времени почти полностью использован в процессе эксплуатации до 2002 г. Однако анализ в соответствии с разработанной методологией позволил обосновать возможность продления ресурса до 175 тыс. ч. Поэтапное продление ресурса должно проводиться в строгом соответствии с установленным порядком. Значительное увеличение назначенного ресурса ЯЭУ и соответствующего срока службы ледокола «Арктика» позволило избежать крайне неприятных последствий для работы на трассе Северного морского пути, обусловленных длительной задержкой завершения строительства атомного ледокола «50 лет Победы» и ввода его в эксплуатацию.

Опыт эксплуатации атомных ледоколов, выявленные проектантами возможности продления работы ледоколов за пределами назначенного ресурса и срока службы дают возможность сделать заключение, что задержка с вводом новых ледоколов на 6—7 лет может быть компенсирована за счет продления срока службы действующих ледоколов до 30—32 лет вместо проектного срока 26 лет. Разработанная заинтересованными ведомствами программа «Атомные ледоколы» учитывает выявленную возможность существенного продления службы действующих ледоколов (до 30—32 лет).

Учитывая, что для проектирования и строительства головного ледокола нового поколения потребуется не менее 7 лет, необходимо уже сейчас разворачивать работы по его созданию.

Прогнозируемые объемы грузоперевозок в Арктике (более 4 млн т в год) могут быть обеспечены действующими атомными ледоколами при условии введения в эксплуатацию достраиваемого атомного ледокола «50 лет Победы». В дальнейшем для замещения выводимых из эксплуатации действующих ледоколов не позднее 2014 г. должны быть построены новые атомные ледоколы.

Исследования и соответствующие разработки, выполненные ЦНИИ морского флота и ЦКБ «Айсберг» в конце 80-х годов, подтвердили техническую возможность и экономическую целесообразность использования в Арктике двухосадочных атомных ледоколов, поскольку при этом сокращается типаж ледоколов нового поколения за счет совмещения в одном ледоколе функций, выполняемых в настоящее время ледоколами двух типов — линейными типа «Арктика» и мелкосидящими типа «Таймыр». Для прогнозируемых грузопотоков потребуется четыре новых универсальных двухосадочных ледоколов с мощностью на винтах ~80 тыс. л.с. Кроме того, предусматривается к 2017 г. строительство атомного ледокола-лидера с мощ-

ностью на винтах ~145 тыс. л.с. Новые универсальные ледоколы должны иметь ледопроеходимость 2,7—2,8 м. Это обеспечит гарантируемую круглогодичную навигацию в западном секторе Арктики.

Надежная круглогодичная навигация на всем протяжении Северного морского пути с учетом экстремальных по ледовым условиям навигаций может быть обеспечена сверхмощным ледоколом-лидером ледопроеходимостью не менее 3,4—3,5 м.

При создании новых ледоколов должны быть в полной мере использованы современные достижения науки и 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. Ожидаемые характеристики атомных ледоколов нового поколения приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3. Характеристики ледоколов нового поколения

Характеристики	Ледокол-лидер	Двухосадочный ледокол
Длина (наибольшая), м	206	176
Ширина (наибольшая), м	40	34
Высота борта, м	20,3	15,8
Осадка по кильватерной линии, м	13	11/8,5
Водоизмещение по кильватерной линии, м	55 600	32 400
Мощность на валах:		
ГВт	110	60
тыс. л.с.	145	80
Число гребных винтов	3	3
Ледопроеходимость, м	3,5	2,9

По расчетам ЦНИИ морского флота реализацию программы по созданию новых атомных ледоколов целесообразно начать с двухосадочного ледокола универсального назначения. При разработке ледокола нового поколения необходимо принять во внимание, что судно должно быть многоцелевым, способным выполнять весь комплекс работ на шельфе: снабженческих, исследовательских, обеспечения электроэнергией, базирования большегрузных вертолетов и т.д. Техничко-экономические исследования показывают, что эксплуатация атомных ледоколов нового поколения приведет к значительному увеличению скорости проводки судов и соответственно к снижению затрат на транспортировку грузов. Ожидаемая рентабельность перевозок повысится на 70—80% в зависимости от вариантов использования ледоколов.

Основные требования к ЯЭУ ледоколов нового поколения. Прогнозируемые особенности и характеристики ледоколов нового поколения в значительной степени определяют и основные требования к их ЯЭУ. На действующих атомных ледоколах используется ЯЭУ, проект которой разработан более 30 лет назад. За прошедшие годы накоплены новые знания и технические решения применительно к транспортным ЯЭУ. Проанализирован многолетний опыт эксплуатации ледоколов. Ужестчились требования по безопасности ко всем видам ядерных энергоисточников, сложились новые подходы при решении безопасности и др. Безусловно,

все изменения, относящиеся непосредственно или косвенно к ЯЭУ, должны найти соответствующие отражения при разработке проектов ЯЭУ ледоколов нового поколения. Для этого должны быть выработаны обоснованные технические требования к ЯЭУ, при качественной реализации которых в проекте и при изготовлении эксплуатация должна подтвердить их достаточность и оптимальность. Основные технические требования к ледоколу нового поколения следующие:

- обеспечение требуемой безопасности для эксплуатационного персонала и окружающей среды при любых возможных аварийных ситуациях;

- высокая ресурсная надежность и безотказность оборудования ЯЭУ;

- срок службы ЯЭУ не менее срока службы ледокола при минимальной доле заменяемого оборудования;

- энергозапас реактора — не более одной перезарядки за время службы ЯЭУ;

- оперативный контроль (мониторинг) в процессе эксплуатации за расходом ресурса критического оборудования, определяющего безопасность и работоспособность ЯЭУ;

- оптимизация комплексной системы управления в обеспечение простоты управления ЯЭУ с включением в ее состав автоматизированной подсистемы «советчик оператора» и тренажера;

- минимизация капитальных и эксплуатационных затрат для сокращения сроков окупаемости;

- минимизация численности обслуживающего ЯЭУ персонала.

В транспортных ЯЭУ в настоящее время используется только реактор с водой в качестве теплоносителя-замедлителя. Несмотря на относительно низкие параметры вырабатываемого пара (температуры, давления), следовательно, и низкий термодинамический к.п.д. (менее 30%), практика подтверждает рентабельность использования реакторов такого типа в коммерческих целях. Поэтому можно утверждать, что в ближайшие несколько десятилетий при создании перспективных ледоколов следует ориентироваться на ЯЭУ с водо-водяными реакторами, тем более что эксплуатация и опыт проектирования подтверждают возможности для совершенствования и реактора, и ЯЭУ в целом.

Выбор оптимального варианта перспективной ЯЭУ будет опираться на исследования и разработки двух направлений, различающихся в первую очередь компоновкой оборудования первого контура реакторной установки: традиционную для транспортных блочную компоновку основного оборудования и интегральную, т.е. компоновку оборудования первого контура в одном корпусе. Для каждого из направлений характерны свои достоинства и недостатки. Блочная компоновка имеет преимущества по сравнению с интегральной по высотным габаритам и доступности к оборудованию первого контура для возможной замены и ремонта. Вместе с тем ей свойственны большая разветвленность первого контура, наличие неотключаемых участков трубопроводов большого диаметра, большее число арматуры, корпусных конструкций.

При интегральной компоновке оборудования теплоноситель первого контура локализован в одном корпусе, отсутствуют неотключаемые участки первого контура, что, безусловно, предпочтительно в целях повышения безопасности. Кроме того, резко сокращается число корпусных конструкций, арматуры. Интегральная компоновка способствует совмещению функций некоторых систем нормальной

эксплуатации и систем, предупреждающих недопустимое развитие аварийных ситуаций. К недостаткам интегральной компоновки следует отнести затрудненный доступ к трубным системам парогенераторов в случае их замены или ремонта и более сложные условия перегрузки топлива. Поэтому интегральная компоновка предполагает использование отработанного высоконадежного оборудования. Для окончательного решения вопроса о типе установки необходимо корректное сравнение обоих типов с привлечением всех критериев, определяющих оптимальность ЯЭУ для ледоколов нового поколения.

Выводы. Приведенные соображения позволяют считать, что многолетняя эксплуатация атомного ледокольного флота России подтвердила технико-экономическую эффективность его использования. Необходимость и перспективность освоения и развития северных регионов страны возможна только при наличии мощных атомных ледоколов. В стране есть научно-технические и производственные возможности для создания атомных ледоколов нового поколения. Необходимо учитывать, что промедление с началом работ по созданию ледоколов нового поколения недопустимо, поскольку сроки вывода действующих ледоколов из эксплуатации уже обозначены.

Поступила в Редакцию 24.01.03

УДК 621.039.526

РАЗРАБОТКА БЫСТРЫХ ГЕЛИЕВЫХ РЕАКТОРОВ В РОССИИ

*Пономарев-Степной Н.Н., Глушков Е.С., Гребенник В.Н., Демин В.Е., Князев В.А.,
Компаниец Г.В., Кухаркин Н.Е., Поляков Д.Н., Алексеев П.Н., Васильев А.В.,
Фомиченко П.А. (РНЦ «Курчатовский ин-т»)*

Мировая ядерная энергетика в прошлом веке базировалась в основном на тепловых реакторах. Ее широкомасштабное развитие с использованием только тепловых реакторов может привести к тому, что уже в XXI в. дешевого природного урана будет недостаточно. Решение топливной проблемы в этом случае состоит во включении в ядерную энергетику быстрых реакторов-размножителей и замкнутого топливного цикла, что повысит энергоиспользование природного урана в 20—30 раз за счет превращения ^{238}U в ядерное топливо. Это позволит дополнительно ввести в объемы экономически выгодных ресурсов существенно более дорогие запасы уранового сырья и обеспечить энергоресурсы в ядерной энергетике на многие столетия. При этом ее структура должна предусматривать совместное использование быстрых и тепловых реакторов [1—3]. Таким образом, развивающаяся ядерная энергетика будущего при росте абсолютных объемов и доли в общем производстве энергии будет характеризоваться расширением применения атомной энергии для производства не только электроэнергии, но и высокотемпературного тепла для различных технологических целей, что потребует самообеспечения воспроизводимым ядерным топливом. Одним из удачных решений для ядерной энергетике будущего, которое удовлетворяет этим требованиям, является высокотемпературный реактор с гелиевым теплоносителем как на тепловых (ВТГР), так и на быстрых нейтронах (БГР) [2, 3]. Применение ге-