

РОССИЙСКИЙ ФЛОТ АТОМНЫХ ЛЕДОКОЛОВ

Олег Бухарин

Атомные ледоколы остаются важными для экономического выживания арктических регионов России, и они являются центральным элементом стратегии развития Северного морского пути. Работы по продлению срока службы реакторов являются критическими для поддержания атомного флота, поскольку несколько из эксплуатируемых в настоящее время атомных ледоколов достигли проектного срока службы. В России также заканчивается строительство нового ледокола и в течение ближайших 10 – 15 лет планируется построить дополнительные атомные суда. Топливо реакторов атомных ледоколов содержит высокообогащенный уран (ВОУ), который должен быть надежно защищен от кражи и изъятия.

Статья получена 2 ноября 2004 г. и принята к публикации 5 января 2006 г.

Эта статья была написана автором, когда он работал в Принстонском университете. Данная работа была поддержана исследовательским и литературным грантом Фонда Джона Д. МакАртура и Кэтрин Т. МакАртур.

Посылать корреспонденцию по адресу: Oleg Bukharin, P.O. Box 37, Garrett Park, MD 20896.

Адрес электронной почты: bukharin@princeton.edu

СЕВЕРНЫЙ МОРСКОЙ ПУТЬ

Советская технология атомных ледоколов была гражданским применением программы атомных подводных лодок. Она стала также полезной демонстрацией гражданских преимуществ ядерных двигательных установок. Кроме того, она рассматривалась как важный элемент национальной стратегии развития российских арктических регионов, огромных пространств суши, богатых природными ресурсами.

Исторически, развитие российской Арктики было тесно связано с развитием Северного морского пути («Севморпуть»), который был основан Советским Союзом в 1930-х г.г. Этот маршрут соединял атлантические и тихоокеанские порты России и регулярно использовался после второй мировой войны. Он открыт для навигации с июня по ноябрь, и он опирается на обширную инфраструктуру, включающую флот ледоколов и торговых судов ледового класса, воздушную разведку, метеорологические станции, навигационные средства, и портовые сооружения. Маршрут служит «дорогой жизни» для многих арктических поселений, которые получают по нему на судах топливо, пищевые продукты, и другие ресурсы. Морской маршрут используется также для перевозки продукции горнодобывающей, химической, и деревообрабатывающей промышленности из арктических областей Сибири в Мурманск и другие крупные порты, имеющие доступ к национальным и международным транспортным сетям.

Объем грузов, перевезенных по Северному морскому пути, достиг максимума в 7 миллионов тонн в 1987 году и после это уменьшился до 1,5 миллиона тонн в конце 1990-х годов¹. Российское правительство стремится увеличить объем перевозок до 10 миллионов тонн в 2008-2010 годах². В значительной степени эти ожидания связаны с началом добычи нефти и газа в Баренцевом море. Доступные ресурсы береговых арктических районов и морского шельфа России эквивалентно оценивается во многие миллиарды баррелей нефти.

В то время как экономические потребности России считаются наиболее важным фактором развития Северного морского пути, ожидается также, что он станет крупной международной трансокеанской линией торговых перевозок между портами Европы и Северной Америки, с одной стороны, и Дальнего Востока и Юго-Восточной Азии, с другой. Использование этого маршрута радикально сократит длину пути: расстояние между Йокогамой и Гамбургом,

¹ "Four questions for Sergey Frank, Minister of Transportation of the Russian Federation," *New East Today* 3/4 (2000) (http://segodnya.spb.rus.net/3-4-00/eng/06_e.htm)

² V. Peresyphkin, "The Strategy of Development," (http://segodnya.spb.rus.net/5-6-00eng/17_e.htm)

например, станет на 40 процентов короче по сравнению с маршрутом через Суэцкий канал³. Международные перевозки между европейскими странами и Китаем, Японией, и Таиландом, начались в 1991 году, когда Россия объявила, что она выполняет требования по международной навигации вдоль Северного морского пути. Окончательно, сборы за использование маршрута могут приносить в российскую экономику порядка 200 миллионов долларов в год⁴.

АТОМНЫЕ ЛЕДОКОЛЫ

Флот атомных ледоколов, эксплуатируемый Мурманской судовой компании (МСК) для Министерства транспорта, обслуживает западный участок маршрута, простирающийся от Мурманска до реки Лена, а также речные порты на больших сибирских реках. Ледоколы класса «Арктика» могут прокладывать проходы во льдах толщиной 1,5 – 2 м, что достаточно для обеспечения круглогодичной навигации в регионе⁵. Корабли для мелководья – два ледокола класса «Таймыр» и грузовое судно класса «Севморпуть» спроектированы для посещения речных портов, и, вообще говоря, не подходят для проводки караванов морских судов. Одной из главных задач флота является обслуживание комбината «Норильский никель», гигантского предприятия, производящего концентраты меди и никеля. Ледоколы обеспечивают поставку концентратов из арктического порта Дудинка в Мурманск для дальнейшей переработки на предприятии «Североникель»⁶. Восточный участок маршрута обслуживается Восточной пароходной компанией, которая эксплуатирует дизельные ледоколы. Когда толщина льда велика, атомные ледоколы помогают Восточной пароходной компании поддерживать маршрут открытым. Преимуществом атомных ледоколов является их большая мощность и способность раскалывания льда. В отличие от дизельных ледоколов, они также способны работать в течение длительных периодов без дозаправки топливом (в некоторых случаях атомные ледоколы оставались в море примерно по 400 суток). Однако, из-за высоких расходов на обслуживание и эксплуатацию, в последние годы работа атомного флота не была прибыльной⁷. Ожидается, что прибыльность улучшится при ожидаемом увеличении объема перевозок.

Ядерные ледоколы остаются центральным элементом стратегии развития Северного морского пути⁸. В ближайшие планы входит продление срока службы действующих кораблей на период до 10 лет и завершение строительства нового ледокола, который в 2002 году был закончен на 70%. В 2014 году в строй должны быть введены четыре ледокола нового поколения с одним реактором мощностью 50 МВт (эл.) для замены некоторых из старых судов (эти ледоколы должны быть спроектированы совместно атомной промышленностью, центральным исследовательским институтом морского флота, и институтом им. Крылова). Эти ледоколы смогут осуществлять проводку караванов в открытом море и работать на мелководье и в реках. Планируется, что атомный суперледокол с мощностью в 110 МВт (эл.) вступит в строй в 2017 году. Он будет способен двигаться через лед толщиной 3 – 3,5 м, и его главной задачей будет проводка караванов из Европы в Тихий океан на круглогодичной основе. Реализация этих планов будет зависеть от доступности финансирования.

ТЕХНОЛОГИЯ АТОМНЫХ ЛЕДОКОЛОВ

Первый советский ледокол «Ленин» был введен в эксплуатацию в 1959 году и до 1966 года работал с тремя реакторами. В 1970 году ледокол был переоборудован двумя реакторами ОК-900. В 1989 году после 11 перезагрузок топлива и выработки 1460 МВт-лет тепловой энергии, ледокол был окончательно снят с эксплуатации.

Элементы реактора ОК-900 и связанной турбинной технологии (обычно упоминаемые

³ Claes Lykke Ragner, *Northern Sea Route Cargo Flows and Infrastructure - Present State and Future Potential*, FNI Report (The Fridtjof Nansen Institute, 2000).

⁴ См. сноску [1].

⁵ Максимальная толщина льда зависит от многих факторов, включая снег, который замедляет движение ледоколов, и давление льда из-за ветра. Последний ледокол класса «Арктика» - «50 лет победы» - способен ломать лед толщиной 2,8 м. См. "Ice breaker Fleet," веб-сайт Балтийского завода (www.bz.ru/e031_002.htm).

⁶ "Russian Northern Sea Route not Hit by Cold: Shipping Firm," *Informare*, (February 18, 1999) (www.informare.it/news/review/1999/st0724.asp).

⁷ "Atomic ice-breakers unprofitable," Bellona web-site (May 23, 2002) (www.bellona.no/en/international/russia/ice-breakers/15252.html#24915).

⁸ См. сноску [2].

как реакторная технология КЛТ-40) использовались на каждом гражданском атомном корабле, построенном после «Ленина»⁹. В 1974 году верфь «Балтийский завод» в Санкт-Петербурге закончила постройку ледокола «Арктика», спроектированного конструкторским бюро «Айсберг». Он стал первым кораблем из серии ледокольных судов класса «Арктика» мощностью 54 МВт (эл.) с двумя реакторами ОК-900А на каждом (см. табл. 1). Ожидается, что пятый и последний корабль из этой серии, ледокол «50 лет победы», вступит в эксплуатацию в 2006 году¹⁰.

Табл. 1. Атомные гражданские суда в России.

Ледокол	А	Б	В
<i>Ленин</i> (3 ОК-150 в 1959-67 гг., 2 ОК-900 в 1970-89 гг.)	1959	1989 (выведен из строя)	-
Ледоколы класса «Арктика» (два реактора ОК-900А на каждом)			
<i>Арктика</i>	1974	2007/2010	2001
<i>Сибирь</i>	1977	Не работает с 1992 г. и при отсутствии финансирования будет выведен из строя полностью	1992
<i>Россия</i>	1985	2004/2014	2011
<i>Советский Союз</i>	1989	2009/2019	2015
<i>Ямал</i>	1992	2012/2022	2018
<i>50 лет победы</i>	2006 (план)	2026/2036	-
Контейнеровоз (один реактор КЛТ-40)			
<i>Севморпуть</i>	1988	2003/2013	2014
Речные ледоколы класса «Таймыр» (один реактор КЛТ-40)			
<i>Таймыр</i>	1989	2004/2014	2015
<i>Вайгач</i>	1990	2005/2015	2016
А – год ввода в строй; Б – оценка вывода из эксплуатации/то же с продлением ; В – ожидаемый вывод из строя по российским оценкам 2000 г. ^а			
^а В. Макаров и др., «Опыт проектирования и эксплуатации реакторных установок гражданских судов», Атомная энергия (сентябрь 2000): 179-189.			

В 1988 году Балтийский завод, вместе с морской верфью «Вяртсила» в Финляндии, построил контейнеровоз «Севморпуть» мощностью 29,4 МВт (эл.). Обычная часть корабля была построена в Финляндии, а реактор и турбинное оборудование устанавливались на Балтийском заводе в Санкт-Петербурге. Двигательная установка корабля включает один реактор КЛТ-40, представляющий последнее поколение реакторов для ледоколов. Реактор КЛТ-40 базируется на проекте ОК-900А, но включает также дополнительные устройства безопасности. И, наконец, для расширения операций ледокольного флота на важные речные порты на крупных сибирских реках, российские кораблестроители, вместе с финскими коллегами, разработали и построили ледокол класса «Таймыр» с уменьшенным водоизмещением. В 1989 и 1990 годах были построены и введены в эксплуатацию два ледокола с одним реактором мощностью 32,5 МВт (эл.). На каждом из них установлен модифицированный реактор КЛТ-40М.

В современных условиях ограниченного финансирования, возможно, наивысшим приоритетом для Мурманской пароходной компании является продление срока службы ее стареющего ледокольного флота. Ожидаемый срок службы ледокола зависит от темпов эксплуатации, состояния льда, обслуживания, и других факторов. Ожидаемый срок службы составляет 100 000 часов на полной мощности, что соответствует 20 годам эксплуатации судна¹¹. Для судов с одним реактором ожидаемый срок службы короче, и в табл. 1 он предполагался

⁹ V. Kovalenko, "Braving the Chill of the Market," *Nuclear Engineering International* (January 1993): 52-54.

¹⁰ "No Radiation from Ship Fire," *The St. Petersburg Times* (December 3, 2004) (www.sptimes.ru/index.php?action-j.d=2&story_id=2228).

¹¹ В. Макаров и др., «Опыт проектирования и эксплуатации реакторных установок гражданских судов», Атомная энергия (сентябрь 2000): 179-189.

равным примерно 15 годам¹². Срок службы основных компонентов реактора в основном ограничивается напряжениями в металле из-за циклических тепловых нагрузок и коррозией металла.

Разработчики реакторов и кораблей изучают возможность продления срока службы реактора с 100 000 часов до 150 000 часов, что соответствует примерно 10 дополнительным годам эксплуатации реактора. В настоящее время работы по продлению срока службы, включая анализ безопасности реактора и двигательной установки, и замену компонентов, проводятся на ледоколе «Арктика». Этот ледокол проработал 142 000 часов; его срок службы был продлен до 175 000 часов. Эксперты полагают, что возможно продление срока службы до 200 000 часов (что соответствует 30-35 годам эксплуатации)¹³.

Если будет проведена программа продления срока службы, то большинство судов флота смогут работать примерно до 2010 – 2015 годов. Без продления срока службы приблизительно половина из эксплуатируемых в настоящее время судов достигнет в несколько ближайших лет конца своего срока службы.

В октябре-ноябре 2002 года российское правительство решило направить ресурсы федерального бюджета для окончания строительства нового ледокола «50 лет победы». Финансировать работы по продлению срока службы будет нести компания, эксплуатирующая ледоколы. Ожидается, что для реализации этой стратегии МПК поднимет плату за услуги ледоколов.

ЯДЕРНЫЙ ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ И БЕЗОПАСНОСТЬ ВОУ

Полагают, что значительную часть топлива для ледоколов составляет уран оружейного качества. Например, согласно разработчикам корабля, реактор КЛТ-40, установленный на контейнеровозе «Севморпуть», использует топливо из урана, обогащенного до 90%¹⁴, в то время как, согласно национальной лаборатории США и персоналу МПК «топливо ледокола обогащено до 20-90% со средней степенью обогащения 60%»¹⁵. Большая часть топлива для ледоколов принадлежит к металлокерамическому типу, в котором частицы оксида урана распределены в алюминиевой матрице. Исключением являются примерно 20 активных зон ураново-циркониевого топлива с 90% обогащением в циркониевой оболочке, изготовленных для ледоколов класса «Арктика». Однако, ураново-циркониевое топливо больше не изготавливается, и, вероятно, существующие запасы уже истощились¹⁶.

Топливо для судовых реакторов изготавливается на машиностроительном заводе в Электростали. Вероятно, что процесс изготовления включает совместную экструзию топливной «сердцевины» и оболочки. Свежее топливо направляется по железной дороге на бакзу «Атомфлот» в Мурманске и хранится до перезаправки на корабле обслуживания «Имандра», который пришвартован на базе¹⁷.

Ядерные ледоколы перезаправляются на базе «Атомфлот» каждые три-семь лет. Сначала (около шести месяцев) отработавшее топливо хранится на борту заправочного судна «Имандра». После шести месяцев хранения на «Имандре» отработавшее топливо перегружается на другой корабль обслуживания «Атомфлота» «Лотта».

После одного-трех лет хранения ураново-алюминиевое отработавшее топливо перевозится на комплекс «Маяк» в Озерске (ранее Челябинск-65), где оно перерабатывается на линии судового топлива переработочного комплекса РТ-1 (в настоящее время завод РТ-1 не может перерабатывать ураново-циркониевое топливо). Концентрация урана-235 в остаточ-

¹² Корабль с двумя реакторами нередко движется, используя на значительной мощности только один реактор. Это эффективно увеличивает срок службы корабля по сравнению с судами с одним реактором, которые непрерывно эксплуатируют свой реактор вместе со связанным турбинным оборудованием.

¹³ A. Korolev, "Life time for nuclear icebreakers prolonged," Bellona Web-site (May 22, 2000) (www.bellona.no/en/international/russia/icebreakers/16825.html).

¹⁴ Интервью с представителями института им. Крылова, Санкт Петербург, сентябрь 1992 года.

¹⁵ Michael O'Brien, "MPC&A Activities with Russian Icebreaker Fleet," presented at the 38th Institute of Nuclear Material Management's Annual Conference, Phoenix, AZ, July 20-24, 1997.

¹⁶ Выбор топлива на базе циркония первоначально был сделан из опасений того, что топливо на базе алюминия будет протекать или потеряет свою конструктивную целостность, как это случилось на некоторых реакторах подводных лодок. Однако, эксплуатационный опыт продемонстрировал адекватное качество топлива на базе алюминия и производство неперерабатываемого цирконий-уранового топлива было прекращено.

¹⁷ Michael O'Brien et al., "MPC&A Activities with Russian Icebreaker Fleet," Partnership for Nuclear Security (U.S. Department of Energy, September 1998).

ном уране остается довольно высокой. Этот уран в виде раствора уранил-гидрата ($UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$) смешивается с переработанным ураном, извлеченным из топлива ВВЭР-440 и из этой смеси изготавливается топливо для энергетических реакторов РБМК.

В среднем МПК проводит от одной до двух перезагрузок топлива в год. Предположив, что одна активная зона содержит 150 кг урана-235, средний поток урана-235 в высокообогащенном уране в топливном цикле ледокольного флота составляет 150 – 300 кг в год.

Топливо с ВОУ для атомных ледоколов требует защиты от кражи и изъятия во время изготовления, транспортировки на предприятие «Атомфлот», и временного хранения на «Имандре» до загрузки в реактор. Суда с атомным двигателем, в особенности корабли для мелководья «Таймыр», «Вайгач» и «Севморпуть», которые в основном работают в реках, также требуют защиты от саботажа. С 1996 года повышение безопасности хранилищ топлива для атомных ледоколов стала фокусом кооперативных усилий, которые включают несколько российских агентств (в первую очередь, Мурманскую пароходную компанию, министерство транспорта, Курчатовский институт, и министерство внутренних дел), программу министерства энергетики США по защите, контролю, и учету ядерных материалов (MPC&A), инспекцию по ядерной энергии Швеции, управление по радиационной защите Норвегии, и управление по гражданской ядерной безопасности Великобритании¹⁸.

Цель американо-российского проекта заключается в повышении безопасности запасов свежего топлива на судне «Имандра»¹⁹. Европейские страны в основном вносят свой вклад в повышение гарантий на ледокольных судах, включая корабли «Севморпуть», «Арктика», и «Ямал»²⁰. По программе по защите, контролю, и учету ядерных материалов США и Россия работают также над повышением безопасности перевозок ядерных материалов в железнодорожных вагонах. Однако, работы по этой программе на линии изготовления топлива с ВОУ на заводе в Электростали не начались из-за запрета доступа американского персонала (помимо топлива для ледоколов, на этой линии изготавливается топливо для атомных подлодок, конструкция которого в России засекречена).

¹⁸ Michael O'Brien et al., "MPC&A Activities with Russian Icebreaker Fleet," (U.S. Department of Energy, 1997); "Wilson: Latest UK Funding For Safe Russian Nuclear Clean-Up Only Tip Of The Iceberg," (U.K. Department of Trade and Industry, November 19, 2002) (www.dti.gov.uk/energy/nuclear/fsii/index.shtml).

¹⁹ Меры по повышению безопасности на судне «Имандра», базе «Атомфлот», и некоторых судах были реализованы в 1998-1999 годах вслед за оценкой уязвимости, проведенной осенью 1996 года; они включали контроль доступа, обнаружение и оценку проникновения, компьютеризованный учет материалов, и радиосвязь.

²⁰ Анна Шувалова, «Российско-британская кооперация глобального партнерства», Ядерный контроль (3) (2004), 125-144.