

Основные причины вывода из эксплуатации судовых ядерных энергетических установок атомных ледоколов, работающих в Арктических морях

Кокина Екатерина Сергеевна, студент
Институт судостроения и морской арктической техники (Севмашвуз)
Белозерова Татьяна Ивановна, кандидат технических наук, доцент

Ключевые слова: реакторная установка, питательная вода, ледокол, атомный ледокольный флот, блочная компоновка, водоопреснительная установка, конденсатно-питательная система, ледовое плавание, судовая ядерная энергетическая установка, сравнительный анализ ледоколов, Арктика, фреттинг, износ трубок теплообменников

В годы разоружения, в начале 90-х годов 20 века, когда существовала угроза потери атомного ледокольного флота и активно обсуждался вопрос о том, нужны ли атомные ледоколы, главный механик атомного ледокола «Советский Союз» М. С. Гурьян отметил: «Вопрос не в том, нужны или не нужны атомные ледоколы, а в том — нужен или не нужен России Север» [5].

В настоящее время в мире наблюдается повышенный интерес к Арктическому региону планеты. Арктический шельф стал привлекательным участком мировой экспансии, поскольку это богатейшая природная кладовая углеводородного топлива, и важная инфраструктурная составляющая транспортного потока. В районе Крайнего Севера добывается 95 % газа, 75 % нефти, основная часть олова, никеля, золота, алмазов. Одну треть Северного ледовитого океана занимает шельф арктических морей России, запасы нефти и газа которого оцениваются в объеме более $10 \cdot 10^{10}$ тонн и накоплен огромный опыт эксплуатации и технического надзора за судами ледового плавания и ледоколами [3].

Перспективы развития судоходства в Арктике и, связанные с этим тенденции расширения сроков арктической навигации и районов использования ледоколов и судов ледового плавания, приводят к множеству сложных задач, основной из которых является поиск компромисса между экономической эффективностью и эксплуатационной надежностью объектов морской инфраструктуры, проектируемых для работы в Арктических морях.

Однако следует отметить, что атомный ледокольный флот, заложенный более 50 лет назад, сокращается и стареет, а задачи освоения и эффективного использования Северных территорий для России, в условиях развивающегося мира, ещё более возрастают [7], [8].

Практика эксплуатации атомных ледоколов с судовой ядерной энергетической установкой показывает, что принятые при проектировании и постройке атомных судов технические решения в целом подтвердили свою актуальность. Оправдался дифференцированный подход к комплектации оборудованием атомных ледоколов различного назначения. В Арктике успешно эксплуатировались ледоколы для работы на глубоководных трассах типа «Россия» и мелкосидящие типа «Таймыр». Определилась практическая необходимость и целесообразность использования данных типов ледоколов для своих задач [1].

Произведем сравнительный анализ ледоколов с судовой ядерной энергетической установкой в таблице 1.

Часть атомных ледоколов, составляющих ранее мощь России, выведена из эксплуатации. Например, такие атомные ледоколы, как «Сибирь» и «Арктика». По данным ОАО «Мурманское морское пароходство» списаны атомные ледоколы: «Таймыр», «Вайгач», «Россия», «Советский Союз», «Ямал» [2]. В настоящее время в состав атомного ледокольного флота входят: два атомных ледокола с двухреакторной ядерной энергетической установкой мощностью 75 тысяч лошадиных сил («Ямал», "50 лет Победы"), два ледокола с одnoreакторной установкой мощностью около 50 тысяч лошадиных сил («Таймыр», "Вайгач"), атомный лихтеровоз-контейнеровоз "Севморпуть" и пять судов технологического обслуживания.

Остальные атомоходы выработали свой технический ресурс и выведены из эксплуатации ("Ленин" в 1989 году, "Сибирь" в 1992 году, "Арктика" в 2008 году, "Россия" в 2013 году). В 2017 году было принято решение утилизировать атомоход "Советский Союз", хотя ранее предполагалось продлить ресурс его реакторной установки еще на 20 лет.

На эксплуатируемом атомном ледоколе 50 лет Победы используется блочная компоновка реакторной установки. Паропроизводящая установка состоит из двух идентичных автономных блоков. В каждый из них входят один реактор, четыре парогенератора и четыре циркуляционных насоса первого контура, составляющие первый контур. Соединение реактора, парогенераторов и гидрокамер ЦНПК выполнено при помощи коротких силовых патрубков типа «труба в трубе», так что создаётся единая жёсткая конструкция – блок. Достигнут значительный опыт изготовления, эксплуатации и ремонта РУ блочной компоновки. В то же время большую компактность обеспечивают РУ интегрального типа. Однако следует считаться с тем фактом, что применение интегральной компоновки при прочих равных условиях приведет к снижению маневренных возможностей реакторной установки (увеличение диаметра корпуса, увеличение толщины стенок корпусов и термодинамических напряжений в критических элементах конструкции) [9].

Проведем сравнительный анализ компоновок, определим достоинства и недостатки (таблица 2).

Таблица 1. Сравнительный анализ ледоколов

Характеристики	«Арктика»	«Россия»	«Таймыр»	«Лидер»	ЛК-60я «Ямал-2»	«Урал»	ЛК-32я «Певек»	«50 лет Победы»	«Арктика»
Номер проекта	1052	10521	-	10560	-	10521	-	10521	22220
Страна постройки	СССР	СССР	Финляндия - СССР	-	СССР	СССР	-	Россия	Россия
Годы постройки серии	1974 - 1976	1985-1991	1989-1990	2005	1997	1994	1997	1990	2019
Длина, м:									
наибольшая	148,0	148,0	150,0	215,0	-	159,6	151,6	159,0	173,3
Ширина по конструктивной ватерлинии судна, м	28,0	28,0	28,0	38,0	33,0	28,0	30,0	30,0	34,0
Высота борта, м	17,2	17,2	15,15	21,3	18,0	17,2	15,0	17,2	-
Осадка по КВЛ, м	11,0	11,0	8,05	13,0	11,0	11,0	9,0	11,0	-
Ледопроездимость, м	2,3	2,3	1,77	3,1	2,8	2,7	1,7	2,8	2,8
Дальность плавания, мили	Не ограничена	Не ограничена	Не ограничена	Не ограничена	Не ограничена	Не ограничена	Не ограничена	Не ограничена	Не ограничена
Численность экипажа, чел.	105,0	105,0	95,0	115,0	95,0	95,0	85,0	138,0	75,0
Эксплуатационный период, сут.	270,0	270,0	290,0	270,0	270,0	270,0	270,0	-	-

Таблица 2. Сравнение блочной, интегральной и раздельной компоновки реакторной установки.

Характеристики	Блочная компоновка	Раздельная компоновка	Интегральная компоновка
Габаритные размеры ППУ	Меньше, чем у раздельной компоновки	Большие	Меньше, чем у блочной компоновки
Габаритные размеры биологической защиты	Меньше, чем у раздельной компоновки	Большие	Больше, чем у блочной компоновки
Масса ППУ	Меньше, чем у раздельной компоновки	Большие	Больше, чем у блочной компоновки
Гидравлические сопротивления циркуляционного насоса	Снижаются	Высокие	Высокие
Радиационная безопасность	Высокая	Низкая	Высокая
Маневренность судна	Высокая	Низкая	Низкая

Таким образом, наиболее оптимальной компоновкой паропроизводящей установки является блочная, в связи с ее достаточно небольшими габаритными размерами, высокой радиационной безопасностью и маневренностью, простотой монтажа. Использование блочной компоновки с поднятыми над активной зоной парогенераторами позволит увеличить расход теплоносителя в реакторной установке за счет естественной циркуляции и работу реакторной установки на собственные нужды в аварийных ситуациях. Поэтому центр масс ледокола поднимется несколько выше.

Конденсатно-питательная система обеспечивает бесперебойное питание парогенератора питательной водой требуемого качества и в необходимом количестве. В установке применена конденсатно-питательная система закрытого типа с деаэратором, подогрев питательной воды производится в деаэраторе до температуры примерно равной 105 °С. Конденсат из ГК подается в деаэратор главным электроконденсатным насосом. В главный конденсатор поступает также конденсат греющего пара водоопреснительной установки [8].

Для снижения солености и содержания продуктов коррозии и эрозии в питательной воде весь поток

конденсатора пропускается через механические и ионообменные фильтры. Очистка конденсатора от кислорода и других газов осуществляется в термомеханическом деаэраторе. Вода в деаэраторе подогревается до температуры кипения паром, отработавшим в трубопроводах главного циркуляционного насоса и главного питательного насоса.

На ледоколе применена многоступенчатая, работающая по принципу самоиспарения, водоопреснительная установка с испарителем – конденсатором, имеющим четыре камеры. Камеры сообщаются между собой через гидравлические запоры по рассолу и дистилляту. Также, в состав опреснительной установки входят: паровой подогреватель питательной воды, насосы забортной воды, рассола, и насосы дистиллята со сборником дистиллята. Дистиллят, полученный в ВОУ, до его направления в системы ЯЭУ проходит дополнительную очистку в ионообменных фильтрах [6].

В ходе эксплуатации атомных ледоколов с двумя реакторными установками был выявлен ряд проблем, решение которых позволит увеличить срок жизненного цикла судовой ядерной энергетической установки атомного ледокола:

1 решение проблемы разгерметизация трубной системы парогенераторов реакторной установки;

2 повышение надежности трубной системы парогенераторов к разрушениям, вызванным вибрацией теплоносителя и коррозионно – эрозионным растрескиванием;

3 газоплотное разделение аппаратного помещения на две части для исключения взаимного влияния РУ при аварии с разгерметизацией первого контура;

4 свести к минимуму количество арматуры находящейся в аппаратном помещении;

5 увеличить надежность выносной газовой системы компенсации давления теплоносителя;

6 повысить температуру питательной воды на входе в парогенераторы;

7 установить преобразователи частоты тока для питания электродвигателей ГЦН с целью плавного изменения скорости;

8 решить проблему необходимости регенерации и замены смол ионообменных фильтров, применяемых в системе водоопреснительной установки;

9 принять решение по проблеме гидравлического сопротивления ионообменного фильтра, в связи с уплотнением смол под давлением потока.

Таким образом, темой для дальнейшего исследования является увеличение надежности трубной системы парогенераторов к разрушениям, вызванным вибрацией теплоносителя и коррозионно – эрозионным растрескиванием.

Литература:

1 Блевинс Р.Д. Фреттинг-износ трубок теплообменников. Часть 1. Эксперименты. Энергетические машины и установки, 1979 г.

2 Блевинс Р.Д., Фреттинг-износ трубок теплообменников. Часть 2. Модели. Энергетические машины и установки, 1979 г.

3 Корецкий С.А., Каплунов С.М., Фесенко Т.Н. "Оптимизация конструкции трубных пучков с учетом их виброизноса в опорах". //Сборник аннотаций и докладов научно-технической конференции Трибология - Машиностроению. М.:ИМАШРАН, 2008. С. 42.

4 Крицкий В.Г., Березина И.Г., Гаврилов А.В. и др. Моделирование миграции продуктов коррозии во II контуре АЭС с ВВЭР-1200 // Теплоэнергетика, 2016, № 4, С.72-80.

5 Миловская Л.А., Спиридонов Д.В. Исследование процессов поступления и накопления примесей в среде 2 контура реакторных установок типа ВВЭР в условиях ведения аммиачноэтанолламинового ВХР второго контура. 8-е Международное научно-техническое совещание "Водно-химический режим АЭС". ОАО "ВНИИАЭС", г. Москва, Россия. 23-25 октября 2012 г.

6 Филатов С. О., Володин В. И. Численное моделирование контура испарителя и грунтового теплообменника //XIV Минский междунар. форум по тепло-и массообмену: тез. докладов и сообщений, Минск. – 2012. – С. 10-13.

7 Фольтов И. М., Архипенко А. В., Масько А. Н. Влияние водно-химических режимов на безопасность, надежность и экономичность эксплуатации АЭС. Состояние и перспективы //Ядерні та радіаційні технології. – 2007. – №. 7, № 1-2. – С. 81-93.

8 Rogozhkin S.A., Fadeev I.D., Shepelev S.F., Aksenov A.A., Mosunova N.A., rick P.G. V&V Status of CFD Codes Applied to BN Reactors // Paper IAEA-CN245-418. International conference on fast reactors and related fuel cycles: next eneration nuclear systems for sustainable development, 26-29 June 2017, Yekaterinburg, Russia.