

пятнадцать сообщений под названием «Химический обзор». Они печатались в течение 1861–1862 гг. и части 1863 г.

В завершение пролистаем еще раз наш журнал и отметим имена людей, чей вклад в копилку «Горного журнала» не был столь значительным, но чьи имена не требуют специального комментария. Как принято сейчас говорить: «No comment». А. Нобель «Употребление вместо пороха нитроглицерина» (1867. Ч. 2. С. 111); Г. Обухов «Об испытании стрельбою четырех кирасных нагрудников из литой стали» (1860. Ч. 1. С. 432); Л. Пастер «О брожении» (1859. Ч. 2. С. 691); К. В. Сименс «О приготовлении литой стали непосредственно из руд в газовых печах с регенератором» (1868. Ч. 4. С. 323); Тютчев «О новых эфирах этиля» (1860. Ч. 2. С. 501); П. Л. Чебышев «Об изменении в параллелограмме Уатта» (1862. Ч. 1. С. 247); А. П. Бородин «О действии йодистого этиля на бензоильдегид» (1859. Ч. 1. С. 617); Ч. Дарвин «О распространении, свойствах и происхождении коралловых островов» (1846. Ч. 2. С. 1).

28 декабря 1867 г. в Санкт-Петербурге по инициативе ректора Университета К. Ф. Кесслера открылся Первый съезд русских естествоиспытателей и врачей, который продолжался до 4 января 1868 г. В нем приняли участие 600 ученых. На трех общих и нескольких специальных заседаниях сделано до 150 докладов, которые впоследствии изданы в «Трудах съезда русских естествоиспытателей». На съезде созданы два научных общества: Санкт-Петербургское общество естествоиспытателей и Русское химическое общество, а также приняты уставы этих обществ.

С 1869 г. начал регулярно выходить «Журнал Русского химического общества», где стали большей частью публиковаться статьи по химии, в то время как в «Горном журнале» в разделе химии печатались статьи более прикладного характера, предмет которых был так или иначе связан с горной или металлургической промышленностью. Однако главная заслуга «Горного журнала» перед химиками состоит в том, что, приняв эстафету у столь авторитетных зарубежных журналов, как «Annalen der Chemie und Physik», «Neues Journal für Chemie und Physik», «Annales de Chimie et Physique», он в течение 45 лет был единственным⁷¹ в России научным журналом, серьезно и в полном объеме освещавшим все крупные достижения химической науки.

⁷¹ Здесь можно упомянуть лишь «Новый магазин естественной истории», издававшийся в 1820–1830-е гг. профессором Московского университета И. А. Двигубским, где кроме переводов иностранных статей публиковались обзоры по истории наук, а также «Указатель открытий по физике, химии, естественной истории и технологии», который издавал с 1824 г. по 1832 г. профессор Н. В. Щеглов в Петербурге.

В. М. КУЗНЕЦОВ

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ И ПОКОЛЕНИЯ АТОМНЫХ ПАРОПРОИЗВОДЯЩИХ УСТАНОВОК ТРАНСПОРТАБЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Россия – лидер мирового экспорта подводных лодок, которые поставляются флотам 14 стран. Из 485 иностранных атомных подводных лодок (АПЛ), 249 – построенные на отечественных верфях¹. Атомное подводное кораблестроение – ключевое направление послевоенного отечественного судостроения. Больше половины суммарных государственных ассигнований на постройку кораблей и судов шло на строительство АПЛ. Отечественные конструкторы разработали свыше 300 проектов подводных лодок, более половины из них реализованы в металле. Из более 5100 подводных лодок, построенных в мире в XX веке, каждая пятая ходила либо под андреевским, либо под советским флагом. Если же рассматривать послевоенный период, то более половины всех лодок построены в нашей стране. На российских лодках впервые в мире были установлены баллистические и противокорабельные крылатые ракеты, баллистические ракеты межконтинентальной дальности. Ракетами были вооружены 212 подводных лодок. Отечественным лодкам принадлежат рекорды скорости хода и глубины погружения. Именно в России освоена постройка подводных лодок из титановых сплавов². Атомное подводное кораблестроение прошло этапы становления и расцвета практически на глазах одного поколения. Сегодня, как и все военное кораблестроение, оно находится в кризисе³.

Первое поколение отечественных атомных подводных лодок (проект 627) построено в 1958 г., через четыре года после американской АПЛ «Наутилус». В отличие от других стран, где АПЛ до 80-х гг. строились по старинке на наклонных стапелях, наша первая атомная лодка и подавляющее большинство последующих собирались на горизонтальных стапелях в крытых эллингах. Создание первой советской АПЛ совпало по времени с появлением на флоте нового оружия – баллистических и крылатых ракет. Американцы создавали свои первые АПЛ как плавучие стенды для отработки атомных паропроизводящих установок

¹ Антонов А. М. Первое поколение атомоходов СКБ-143 // Вестник «Подводное кораблестроение. Прошлое, настоящее, будущее». 1996. Вып. № 6. С. 73.

² Кузнецов В. М. Основные проблемы и современное состояние безопасности предприятий ядерного топливного цикла России. 2-е изд. М.: «Эпицентр», 2003; Кузнецов В. М. Анализ радиационной безопасности и состояния хранения радиоактивных веществ на объектах атомной энергетики на территории бывшего Советского Союза. Международный черныбыльский фонд безопасности. М., 1994.

³ Кузнецов В. М., Колтон И. Б. Безопасность атомной энергетики транспортного направления (атомные подводные лодки и надводные корабли, атомные ледоколы и лихтеровозы, плавучие атомные электростанции) и риски при их применении // Труды международной конференции «Анализ и сравнение рисков от атомной и других отраслей энергетики». М.: ЦНИИАтоминформ., 2002. С. 48–49.

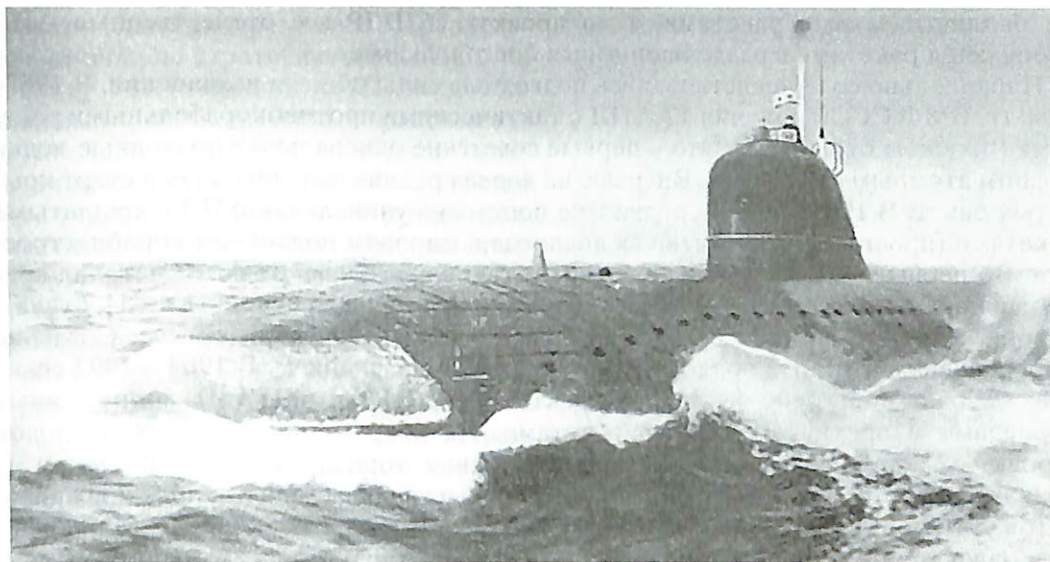
(АППУ) разных типов, а СССР практически сразу начал создавать серийные боевые лодки трех основных классов: торпедные, с баллистическими и крылатыми ракетами⁴.

Первые два типа АПЛ строились в Северодвинске, а постройка атомных подлодок с крылатыми ракетами началась в Комсомольске-на-Амуре. В 1958–1964 гг. флот получил 13 торпедных АПЛ (проекты 627, 627А), 8 АПЛ с баллистическими ракетами (проект 658) и 5 лодок с крылатыми ракетами (проект 659). Кроме того, в 1963 г. вошла в строй опытная торпедная АПЛ (проект 645). В отличие от всех остальных лодок первого поколения с водо-водяными АППУ, последняя имела установку с жидкометаллическим теплоносителем. В 1963–1968 гг. в Северодвинске и Комсомольске-на-Амуре построено еще 29 АПЛ первого поколения с крылатыми ракетами (проект 675). Все торпедные АПЛ проектировались в СКБ-143, а ракетные – ЦКБ-18 (сегодня ЦКБ «Рубин»). Лодки (проект 658) были вооружены тремя баллистическими ракетами с надводным стартом, которые, в отличие от американских, были жидкотопливными. Позднее, в 60-е гг., на АПЛ, модернизированных по проекту 658М, установлены ракеты увеличенной дальности, стартующие из-под воды. Созданная морская стратегическая система, хотя и уступала американской, выполнила свою задачу. Серийные АПЛ с крылатыми ракетами строил только ВМФ СССР. Если лодки (проект 659) были вооружены 6 крылатыми ракетами для стрельбы по наземным целям, то основным оружием самых массовых АПЛ первого поколения (проект 675) стали первые противокорабельные ракеты, в их развитии СССР долгие годы имел неоспоримый приоритет. Впоследствии неэффективное оружие с подводных лодок (проект 659) было снято, а часть лодок (проект 675) перевооружена новыми, более эффективными противокорабельными комплексами. Советские конструкторы, в отличие от американских, не рисковали создавать первую АПЛ без дублирования энергетической установки. Главная отличительная особенность АПЛ первого поколения – это два реактора и двухвальность. Обладая мощными АППУ и хорошими скоростными качествами, они значительно уступали в скрытности американским подлодкам.

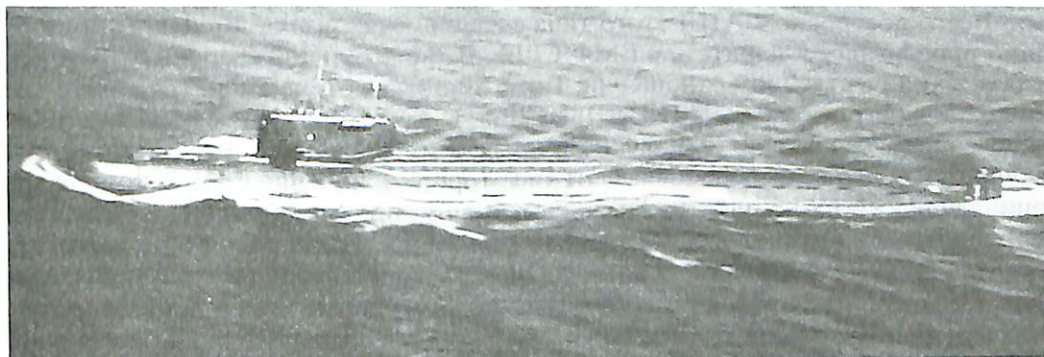
АПЛ второго поколения, вступавшие в строй с 1967 г., – по существу ответ ВМФ СССР на вызов американского флота, создавшего в 1959–1967 гг. 41 стратегическую атомную подводную лодку системы «Polaris»⁵. К постройке американских ракетных и многоцелевых АПЛ привлекалось до 7 частных и государственных верфей. Строительство советских АПЛ второго поколения развернулось на пяти заводах страны. Кроме Севмашпредприятия и завода им. Ленинского комсомола, занятых реализацией крупнейшей в истории стратегической программы, к постройке многоцелевых АПЛ и лодок с крылатыми ракетами были подключены Адмиралтейский завод и Судомех (впоследствии объединенные в одно предприятие) в Ленинграде и завод Красное Сормово в Горьком (ныне Нижний Новгород). К проектированию атомных подводных лодок дополнительно были привлечены ЦКБ-16 в Ленинграде (сегодня в составе СПМБМ «Малахит») и СКБ-112 (ЦКБ «Лазурит») в Горьком. Это было начало золотого века отечественного атомного подводного кораблестроения. 1967 год можно условно считать началом той гонки, в результате которой советский Военно-Морской флот под руководством адмирала С. Г. Горшкова, отставая изначально в количественном и качественном отношении, вышел на

⁴ Букань П. По следам подводных катастроф. М.: Гильдия мастеров «Русь», 1992. С. 230.

⁵ Полвека в атомном машиностроении // Сб. материалов-воспоминаний / Сост. Г. М. Антоновский и др.; под общ. ред. Ф. М. Митенкова. Нижний Новгород: КиТиздат, 1997.



Атомная подводная лодка, проект 627
(фото И. Б. Колтона, из архива автора)



Атомная подводная лодка, проект 667А
(фото И. Б. Колтона, из архива автора)

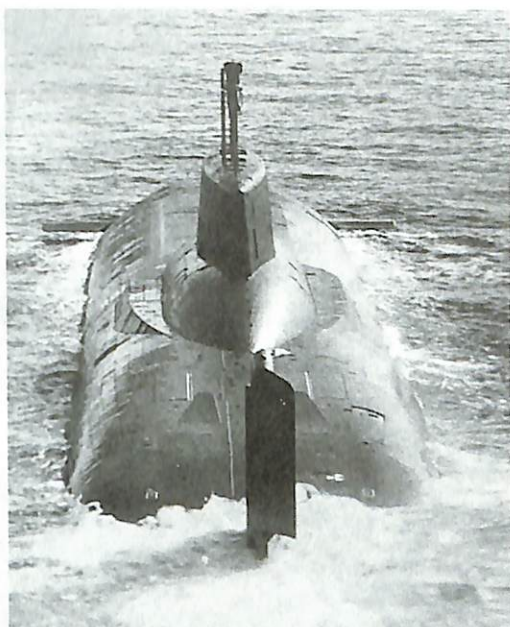
паритет с ВМФ США. Несмотря на то, что еще в 1955 г. впервые в мире в нашей стране баллистическая ракета была запущена с подводной лодки, 37 атомных и дизельных лодок с баллистическими ракетами, построенных в 1955–1962 гг., не могли составить серьезную конкуренцию американской системе. Только в 1967–1974 гг. была создана сопоставимая по эффективности морская стратегическая система – 34 АПЛ с 16 баллистическими ракетами (проект 667А). Техническая целесообразность и перспективность решений, положенные в основу проекта и его ракетного комплекса, обеспечили возможность поэтапной модификации. В 60–80-е гг. построено 77 АПЛ (проекты 667А, 667АУ, 667Б, 667БД, 667БДР и 667 БДРМ) с постоянно улучшающимися характеристиками, как АПЛ, так и их оружия, – крупнейшая программа в истории атомного подводного кораблестроения. Лодки (проект 667Б) впервые в мире были вооружены межконтинентальны-

ми баллистическими ракетами, а по проекту 667БДР все отечественные АПЛ вооружены ракетами с разделяющимися боеголовками.

Параллельно совершенствовались подводные силы общего назначения. В 1967–1980 гг. ВМФ СССР получил 17 АПЛ с тактическими противокорабельными ракетами (проекты 670, 670М). Это – первые советские одновальные подводные лодки с одним атомным реактором. Впервые на лодках реализован подводный старт крылатых ракет. В 1969 г. в Северодвинске построена уникальная АПЛ с крылатыми ракетами (проект 661), не имевшая аналогов в мировом подводном кораблестроении. Во-первых, она была полностью из титанового сплава, из этого металла кроме нас корабли никто не строил. Во-вторых, она развивала скорость до 44,7 узла – рекорд, который вряд ли будет превзойден в обозримой перспективе. Создание многоцелевых атомных подлодок шло по двум направлениям. В 1967 – 1992 гг. на трех заводах построено 48 АПЛ (проекты 671, 671РТ и 671РТМ), вооруженных торпедами и противолодочными ракетами. На вооружении атомных подлодок (проект 671РТ) впервые появились дальнеходные торпеды калибра 650 мм, а на лодках (проект 671РТМ) – крылатые ракеты, выстреливаемые из торпедных аппаратов. Эти подводные лодки, как и ракетные АПЛ по проекту 667БДРМ с новым радиоэлектронным вооружением, были по своим характеристикам промежуточными кораблями между вторым и третьим поколениями. Одновременно создавались уникальные противолодочные АПЛ – по проектам 705, 705К. Эти скоростные титановые автоматизированные подлодки опередили свое время. Внедрение многочисленных новшеств в небольшой АПЛ было связано со значительными трудностями. Всего построено 7 АПЛ этого типа с жидкометаллической АППУ. Флот успешно продвигался к паритету с ВМФ США. В значительной степени это удалось сделать в количественном отношении. Так, в 70-е гг. на отечественных верфях спущено на воду втрое больше АПЛ, чем в США. К началу 80-х гг. резко улучшились качественные характеристики военно-морской техники. Необходимо отметить, что при создании лодок первого и частично второго поколений недостаточное внимание уделялось их шумности. Традиционно во главу угла ставились количество построенных лодок, скорость и глубина погружения. Из-за большой шумности и слабой гидроакустики отечественные АПЛ первого поколения были практически глухи. Положение стало выправляться только с середины 70-х гг. Благодаря многолетним усилиям ученых и конструкторов при ведущей роли ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова последние лодки второго поколения в области снижения физических полей значительно превосходят в скрытности первые АПЛ. Принципиальное отличие нашего атомного подводного флота от иностранных флотов – в несколько раз меньшая интенсивность эксплуатации. Здесь сказывались и меньшая надежность техники, и ресурс основных механизмов. Но главное – материально-техническое обеспечение в этой области шло по остаточному принципу.

Начало работ по созданию **АПЛ третьего поколения** в истории атомного подводного кораблестроения, не закончившееся и сегодня, относится ко второй половине 70-х – началу 80-х гг. Внедрение нового оружия и радиоэлектронного вооружения резко увеличило водоизмещение атомных подлодок. Даже многоцелевые лодки выросли по водоизмещению почти до ракетоносцев второго поколения, а водоизмещение ракетных АПЛ достигло почти 25 тыс. тонн. Естественно, это потребовало реконструкции мощностей. Были созданы крупнейший в мире судостроительный комплекс на Севмашпредприятии, новый комплекс в Горьком. Первая АПЛ третьего поколения вошла в строй в начале 80-х гг. Впервые создание подводных систем с сопоставимыми характеристиками в СССР и США произошло

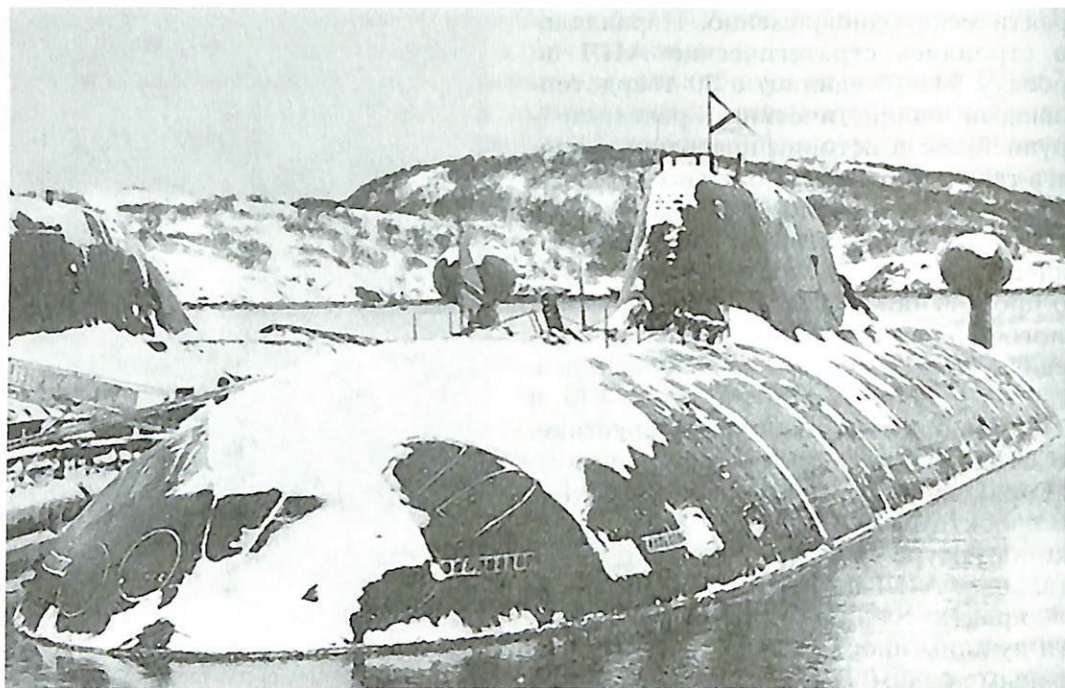
практически одновременно. Параллельно строились стратегические АПЛ по проекту 941 (6 единиц) с 20 твердотопливными баллистическими ракетами – крупнейшие в истории подводного флота, а также и атомные лодки по проектам 949, 949А (13 единиц) с 24 крылатыми ракетами. Продолжалась, как уже отмечалось, постройка стратегических АПЛ по проекту 667БДРМ. Новое поколение многоцелевых подлодок появилось в середине 80-х гг. Одновременно вошли в строй головные АПЛ (проекты 945 и 971), имеющие близкие характеристики, но отличающиеся материалом корпуса. В Горьком построено 4 титановых АПЛ по проектам 945 и 945А, а в Комсомольске-на-Амуре и Северодвинске – 13 стальных АПЛ по проекту 971. Последние практически не уступают в скрытности лучшим иностранным атомным подводным лодкам. В 1983 г. ВМФ передана опытная глубоководная титановая атомная подлодка (проект 685) с глубиной погружения до 1000 м – самая глубоководная боевая лодка. До последнего времени многономенклатурность была серьезным



Атомная подводная лодка,
проект 941
(<http://www.ruspodlodka.narod.ru>)

недостатком атомного подводного флота и всей отечественной техники. Одна из причин – избыточность проектной и научно-исследовательской базы. Решение об оптимальных путях развития подводной техники зачастую не принималось на стадии научно-исследовательских или проектных работ. В опытное производство и даже в серию нередко параллельно шли два и более проектов близкого назначения. Например, в 60-е гг. одновременно строились атомные и дизель-электрические лодки с одинаковым вооружением: с баллистическими и крылатыми ракетами и торпедные. Частично это можно было оправдать ненадежностью первых АППУ. До начала 80-х гг. практически одновременно строились АПЛ с водо-водяными установками и с АППУ с жидкотеплоносительным теплоносителем, хотя США отказались от последнего проекта еще на рубеже 60-х гг. В то же время строились подлодки со стальными и титановыми корпусами. Титановое производство было развернуто на трех заводах. Исторический спор в 50–70-е гг. по поводу эффективности жидкотопливных и твердотопливных баллистических ракет мы решили весьма своеобразно – вооружая все 80-е гг. отечественные ракетоносцы и теми и другими.

На момент распада СССР на российских заводах в различной степени готовности только для ВМФ находились 36 подводных лодок, в том числе 29 – атомных. Часть из них достроили, а постройка кораблей с малой степенью готовности прекратилась, а некоторые из них до сих пор на стапелях ждут решения своей участи. Сегодня в России продолжается вялотекущая достройка АПЛ третьего поколения, начали строить корабли четвертого поколения, строятся дизель-электрические лодки. Строительство атомных подлодок практически полностью сосредоточено в

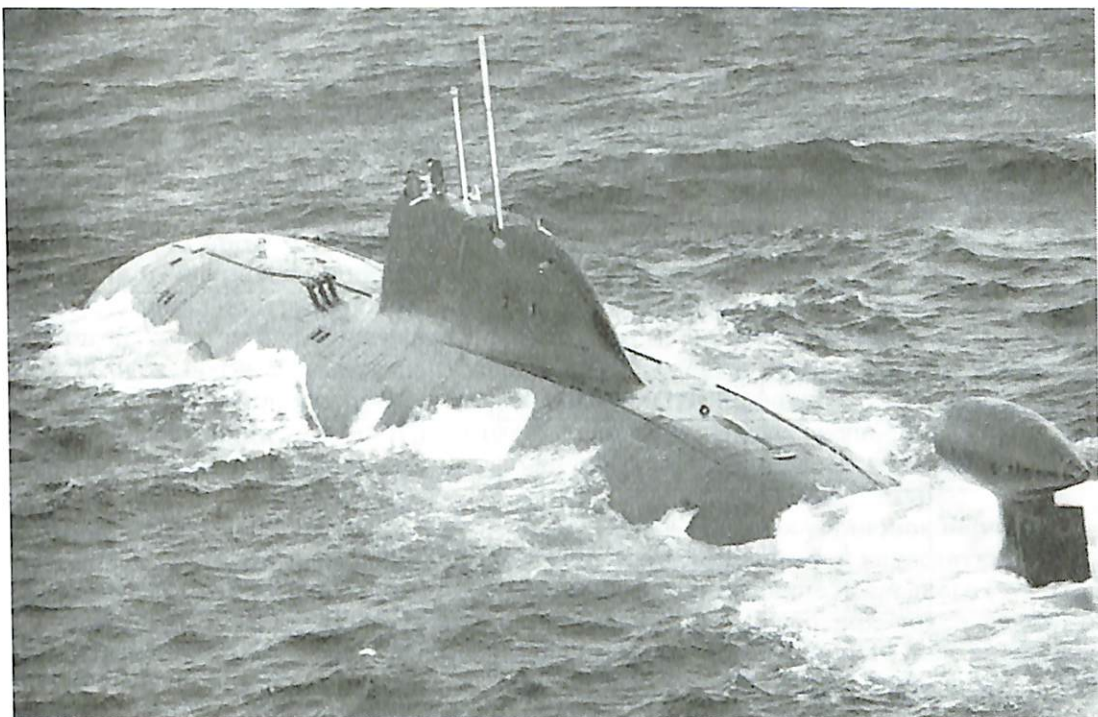


Атомная подводная лодка, проект 971, у пирса
(<http://www.ruspodlodka.narod.ru>)

Северодвинске. Проектирование лодок четвертого поколения, начатое еще в 1977–1978 гг., по различным причинам затянулось. Первыми пошли в постройку многоцелевые АПЛ. Головная из них – «Северодвинск» – заложена в декабре 1993 г. В ноябре 1996 г. на соседнем стапеле в эллинге Севмашпредприятия заложен головной стратегический ракетоносец **четвертого поколения** «Юрий Долгорукий». Однако постройка этих кораблей при существующем уровне финансирования ведется чрезвычайно низкими темпами. В 90-е гг. и по настоящее время военное российское кораблестроение переживает глубокий кризис. Тенденция эта мировая, а не только российская. Остается надеяться, что и юбилейную, 250-ю, атомную подводную лодку ВМФ России увидит до 2010 г.

Атомные паропроизводящие установки также делятся на **четыре поколения**.

Работой над созданием **первого поколения АППУ** занимались многие конструкторские бюро, заводы и предприятия Советского Союза. Необходимо было решить ряд новых инженерно-конструкторских задач. В первую очередь – создание энергетического блока атомного корабля, т.е. реакторной установки, систем и механизмов, обеспечивающих ее работу. Научным руководителем разработок был назначен академик А. П. Александров, главным конструктором по энергетике – академик Н. А. Доллежалъ. Для АПЛ был выбран водо-водяной реактор, аналогов которому в стране не существовало. Работы над реактором такого типа для АЭС начались только в 1955 г. При разработке водо-водяных реакторов возник ряд новых важных вопросов, но они для уран-графитовых реакторов были мало существенными. В первую очередь это касалось: оптимизации тепловой схемы ядерного реактора (ЯР) и поиска параметров; схемы регулирования нейтронных процессов в



Атомная подводная лодка, проект 971, в походе
(<http://www.pl.kai.ru>)

ЯР; методов нейтронно-физического расчета водо-водяных ЯР; проблем глубокого выгорания ядерного топлива и накопления осколков деления ^{235}U , создания теплотехнической модели атомной установки; разработки схемы автоматического управления атомной установкой.

В результате была создана малогабаритная, высоконапряженная и высокоманевренная ЯЭУ, удовлетворяющая требованиям подводной лодки. На основе этой атомной установки было создано 4 поколения атомных установок и ряд их модификаций ⁶.

Создание транспортной атомной установки для того времени было огромным техническим прогрессом. Однако с точки зрения ядерной и радиационной безопасности АППУ имела ряд серьезных недостатков, которые и стали причиной множества аварий и поломок. За весь период эксплуатации АППУ первого поколения произошло пять ядерных аварий с водо-водяными реакторами (К-19 – 1961 г.; К-11 – 1965 г.; К-222 – 1980 г.; К-431 – 1985 г. и К-192 – 1989 г.). Кроме этого, случались аварии на атомных установках, в результате – ухудшалась радиационная обстановка в отсеках подводной лодки. Основными недостатками атомных установок первого поколения с точки зрения их ядерной и радиационной безопасности были: большая пространственная распределенность и большой объем первого контура, наличие трубопроводов большого диаметра, соединяющих основное оборудование, т.е. реактор, парогенераторы, насосы, теплообменники, компенсаторы объе-

⁶ Павлов А. С. Военные корабли СССР и России, 1945–1995 гг. Якутск, 1994. С. 436.

**Типы реакторов, обогащение ядерного топлива
и тепловая мощность АППУ АПЛ⁷**

Проект	Количество реакторов	Тип реактора	Обогащение (%)	Тепловая мощность реактора (МВт)
1-е поколение				
627 А	2	ВВЭР, ВМ-А	21	70
658	2	ВВЭР, ВМ-А	21	70
659/675	2	ВВЭР, ВМ-А	21	70
2-е поколение				
667 А	2	ВВЭР, ОК-700 ВМ-4	21	90
667 Б-БДРМ	2	ВВЭР, ОК-700 ВМ-4-2	21	
670 А	1	ВВЭР, ОК-350 ВМ-4	21	90
670 М	1	ВВЭР, ОК-350 ВМ-4	21	75
671	1	ВВЭР, ОК-300 ВМ-4	21	75
671	2	ВВЭР, ОК-300 ВМ-4	21	75
3-е поколение				
941	2	ВВЭР, ОК-650 ВВ	21 – 45	190
949	2	ВВЭР, ОК-650 Б	21 – 45	190
945	1	ВВЭР, ОК-650	21 – 45	190
971	1	ВВЭР, ОК-650 Б	21 – 45	190
АПЛ с жидкометаллическим теплоносителем				
645 ЖМТ	2	ЖМТ, ВТ-1	90	73
705	1	ЖМТ, ОК-550, МБ-40 А	90	155
Надводные корабли				
1144	2	ВВЭР, ОК-900 КН-3	Неизвестно	300
1941	2	ВВЭР, ОК-900 КН-3, БМ-16	55 – 90	171

ма и др. Это создавало серьезные проблемы в организации защиты при аварийной разгерметизации первого контура, а также при разрыве многочисленных импульсных трубок, соединяющих первый контур с контрольно-измерительными приборами; невысокая надежность оборудования и большие его массово-габаритные характеристики с одной стороны (особенно электрооборудования, так как использовался постоянный ток), при высоких технологических и эксплуатационных параметрах – с другой (температура первого контура 300 °С, давление первого контура

⁷ Полвека в атомном машиностроении // Сб. материалов-воспоминаний...; Нислен Т., Кудрик И., Никитин А. Северный флот. Потенциальный риск радиоактивного загрязнения региона. Доклад объединения «Беллона». 1996. № 2. С. 168.

около 200 атм, температура пара около 250 °С и т.д.); практически отсутствие автоматизации процесса управления атомной установкой, низкая надежность и достоверность показаний контрольно-измерительных приборов, а также систем управления и защиты ядерного реактора; недостаточная прочность третьего барьера безопасности (аппаратной, парогенераторной, насосной выгородки и выгородки системы управления защиты (СУЗ) АППУ). Впоследствии было подсчитано, что при разрыве первого контура указанные выгородки теряют герметичность, в результате чего происходит загрязнение отсеков ⁸; недостаточно надежная система контроля за ядерными процессами, происходящими в реакторе. Пусковая аппаратура позволяла контролировать ядерные процессы в реакторе во время пуска только при выходе на его минимально контролируемый уровень мощности. До этого уровня пуск ядерного реактора осуществлялся в слепую по специальной программе, рассчитанной оператором, которая могла быть ошибочной ⁹; малое пусковое положение компенсирующих решеток в совокупности с несовершенным перегрузочным оборудованием и халатностью личного состава привело к аварии на АПЛ «К-431» в бухте Чажма.

Можно перечислить еще целый ряд недостатков атомных установок первого поколения, однако, на сегодняшнюю экологическую ситуацию эти недостатки и проблемы не могут оказать какого-либо влияния, так как наличие последнего (четвертого) барьера безопасности в виде прочного корпуса подводной лодки надежно предотвращает выход радионуклидов в окружающую среду. В настоящее время все подводные лодки первого поколения выведены в отстой с целью их дальнейшей утилизации. Экологические проблемы этих кораблей будут связаны с выгрузкой ядерного топлива из реактора, дезактивацией оборудования реакторного отсека, захоронением радиоактивного оборудования этих кораблей. На решение этих проблем потребуется не один год.

АППУ второго поколения создавалась на опыте эксплуатации первого поколения и с учетом ее недостатков. На первом этапе развития предполагалось, что за счет обеспечения высокого качества трубопроводов, оборудования и других компонентов АППУ можно будет избежать серьезных аварий. Исходя из этого, для АППУ первого и второго поколений в качестве максимальной проектной аварии рассматривалась течь теплоносителя конечного размера, поэтому жестких требований к системам локализации аварий не предъявлялось. Также не предусматривались возможности расхолаживания атомной установки в условиях полного обеспечения подводной лодки. Исходя из опыта эксплуатации первого поколения, где главные «неприятности» приносили течи воды из первого контура во второй (в основном через парогенераторы) и течи наружу (в насосные, аппаратные и парогенераторные выгородки), для второго поколения была изменена компоновочная схема атомной установки. Она оставалась петлевой, однако были существенно сокращены пространственная распределенность и объемы первого контура. Применены схема труба в трубе и схемы навешанных насосов первого контура на парогенераторы. Сокращено количество трубопроводов большого диаметра, соединяющих основное оборудование (фильтр первого контура, компенсаторы объема и т. д.). Практически все трубопроводы первого контура (малого и большого диаметров) были размещены в необитаемых помещениях под биологической защитой. Существенно изменились системы контрольно-измерительных при-

⁸ Бахметьев А. М. Методы оценки и обеспечения безопасности ЯЭУ. М., 1992. С. 234.

⁹ Алешихин В. С. Судовые ядерные реакторы. М., 1991. С. 278.

боров и автоматики атомной установки. Увеличилось количество дистанционно-управляемой арматуры (клапанов, задвижек, заслонок и т.д.). Подводные лодки второго поколения перешли на источники переменного тока. Турбогенераторы (основные источники электроэнергии) стали автономными. Однако вопросы ядерной и радиационной безопасности до конца решены не были, и об этом свидетельствуют имевшие место аварии. За период с 1967 г. по настоящее время произошло три ядерные аварии на АПЛ с водо-водяным ядерным реактором (АПЛ «К-140» – 1968 г.; «К-320» – 1970 г.; «К-314» – 1983 г.), а также аварии с атомными установками¹⁰. Основным недостатком АППУ второго поколения с точки зрения ядерной и радиационной опасности являлась ненадежность основного оборудования (активных зон, парогенераторов, систем автоматики). В результате этого аварии и поломки были связаны в основном с разгерметизацией оболочек тепло-выделяющего элемента, с течами воды из первого контура во второй через парогенераторы, а также с выходом из строя систем автоматики или с возможностью ее работы в таком режиме, когда происходил несанкционированный пуск ядерного реактора (авария на «К-140»). Остались нерешенные проблемы ядерной безопасности, связанные с аварийным расхолаживанием ядерного реактора при полном обесточивании корабля; с обеспечением контроля за ядерными процессами в реакторе, когда он находится в подкритическом состоянии (за исключением некоторых заказов, когда при ремонте или строительстве была установлена импульсная пусковая аппаратура); с предотвращением полного осушения активной зоны при разрыве первого контура.

Проектирование **АППУ третьего поколения** осуществлялось с начала 70-х гг. Этот период в развитии ядерной энергетики характеризуется формированием нового отношения к атомным установкам, как к объекту повышенной опасности. Была разработана концепция по созданию систем безопасности, включая системы аварийного расхолаживания (охлаждения) и локализации аварии. Эти системы рассчитывались на максимальную проектную аварию, в качестве которой принимался мгновенный разрыв трубопровода теплоносителя на участке максимального диаметра. Для кораблей третьего поколения применили блочную схему компоновки. С точки зрения безопасности с ее помощью решили ряд важных задач. В первую очередь такая схема позволила иметь режим естественной циркуляции по первому контуру на достаточно высоких уровнях мощности реактора, что важно для организации теплоносителя с активной зоны при полном или частичном обесточивании корабля. Эта компоновка практически заменила трубопроводы первого контура на короткие трубы большого диаметра (патрубки), соединяющие основное оборудование (реактор, парогенератор, насосы). Атомные установки оборудуются системой безбатарейного расхолаживания (ББР), она автоматически вводится в работу при исчезновении электропитания. Существенно изменилась система управления и защиты реактора. Импульсная пусковая аппаратура позволяет контролировать состояние реактора на любом уровне мощности, в том числе и в подкритическом состоянии. На компенсирующие органы установлен механизм «самохода», который при исчезновении электропитания обеспечивает опускание решеток на нижние концевики. При этом происходит полное «глушение» реактора, даже при опрокидывании корабля. Также установлен дополнительный ряд других технических новшеств, повышающих безопасность эксплуатации. Блочная компоновка

¹⁰ Мормуль Н. Г., Жильцов Л. М., Осипенко Л. Г. Атомная подводная эпопея. М.: АО «Боргес», 1994. С. 370.

АППУ позволила уменьшить габариты, увеличив при этом ее мощность и другие эксплуатационные параметры.

Главными проблемами на ЯЭУ третьего поколения с точки зрения безопасности являются проблемы надежности основного оборудования. В первую очередь активных зон, блоков очистки и расхолаживания. Проблемы с надежностью основного оборудования связаны с высокой цикличностью процессов, происходящих в атомной установке при ее эксплуатации. Было учтено, что при блочной компоновке патрубки и многие элементы основного оборудования по качеству и надежности должны в полной мере соответствовать корпусу реактора. Для этого оборудования необходимо было соблюсти принцип «течь перед разрушением».

АППУ **четвертого поколения** представляет собой моноблок (или интегральную схему компоновки). Очевидное преимущество такой компоновки – локализация теплоносителя первого контура в одном объеме (в корпусе моноблока) и отсутствие патрубков и трубопроводов большого диаметра. Эта установка создавалась с учетом всех современных требований ядерной безопасности. В связи с тем, что затруднен доступ к оборудованию, размещенному в реакторе, подобная схема компоновки предполагает использование высоконадежного оборудования.

В особую категорию атомных установок следует выделить АППУ с жидкометаллическим теплоносителем (АППУ ЖМТ). Первая из них «К-27», на которой произошла ядерная авария. Причиной ее было засорение технологических каналов продуктами окисления сплава, в результате чего произошел пережог активной зоны ¹¹.

Первая подводная лодка во время заводских испытаний и непродолжительной опытной эксплуатации показала низкую надежность и из-за ряда крупных поломок была разрезана. Реактор с невыгруженной активной зоной, залитой фурфуролом и битумом, находится на заводе «Звездочка» в Северодвинске. Остальные шесть кораблей этой серии эксплуатировались в течение 10 лет ¹². За это время корабельные АППУ с ЖМТ наработали около 70 реакторо-лет. Ядерный реактор на промежуточных нейтронах с теплоносителем свинец-висмут разрабатывался в Особом конструкторском бюро «Гидропресс» в Подольске и Особом конструкторском бюро машиностроения в Нижнем Новгороде. Главное достоинство этой установки – ее динамичность. Основная силовая сеть создана на частоте 400 Гц, что позволило практически вдвое сократить массо-габаритные показатели оборудования, но в то же время эксплуатация этого оборудования усложнилась. Освоение кораблей с атомными паропроизводящими установками на жидкометаллическом теплоносителе было трудным. Специфика заключалась в том, что существовала опасность затвердевания сплава, что привело бы к выводу из строя атомной установки. В Западной Лице, где базировались корабли этого класса, был создан целый береговой комплекс для кораблей этого проекта. Построена специальная котельная для подачи пара на корабли, а также к пирсам поставлены плавказарма и эсминец, которые давали пар от своих котлов. Однако в связи с низкой надежностью берегового комплекса подводные лодки «грелись» от своего ядерного реактора, который работал на минимально контролируемом уровне мощности.

Сложность эксплуатации создавала еще и высокая автоматизация этих кораблей. Все отсеки (за исключением двух) были необитаемы. Операции по управлению системами и оборудованием выполнялись с пультов, размещенных в центральном по-

¹¹ Кузнецов. Основные проблемы... 2003. С. 460.

¹² Кузнецов В. М. Настоящее и будущее быстрых реакторов // Проблемы глобальной безопасности. 2001. № 2, ноябрь–декабрь. С. 14–17.

сту. Несмотря на то, что на подводных лодках с АППУ на ЖМТ имели место две ядерные аварии, эти реакторные установки считаются более безопасными, чем ЯЭУ с водой под давлением (водо-водяные реакторы). Безопасность реакторов на жидкометаллическом теплоносителе определяется следующими свойствами: высокой температурой кипения теплоносителя (1679 °С) при низком давлении в первом контуре, что исключает его переопрессовку, тепловой взрыв ядерного реактора и выброс активности наружу; быстрым затвердеванием сплава при разгерметизации (температура плавления сплава около 125 °С), благодаря чему исключается возможность тяжелой аварии с потерей теплоносителя; небольшой долгоживущей наведенной альфа-активностью собственно теплоносителя; отсутствием выхода аэрозолей Po^{210} , но при этом существует нейтронное излучение радиоактивного Po^{210} (период полураспада – 138 суток); способностью жидкометаллических теплоносителей при повреждении оболочек тепловыделяющих элементов и разгерметизации первого контура удерживать значительную активность радиоактивного йода, представляющего основную радиационную опасность для обслуживающего персонала; небольшим запасом реактивности, исключающим в энергетических режимах неконтролируемый разгон ЯР на мгновенных нейтронах, а также его способностью самопроизвольно уменьшать мощность в аварийных ситуациях; градиент давления между контурами энергетической установки направлен от второго контура к первому, что позволяет предотвратить выход радиоактивного теплоносителя за пределы контура.

Эти и другие аргументы говорят о перспективности этого направления. В настоящий момент конструкторы АППУ решили проблему «замораживания» и «размораживания» сплава в установке, однако корабли с жидкометаллическим теплоносителем в настоящее время не строятся.

АППУ для надводных кораблей «КН-3» (активная зона типа ВМ-16) создавалась на опыте строительства и эксплуатации паропроизводящих установок ледоколов. По своей конструкции она практически ничем не отличается от атомной установки типа ОК-900 атомных ледоколов класса «Россия». Недостатки в конструкции этих установок с точки зрения безопасности такие же, как и для АПЛ третьего поколения. В настоящее время атомные надводные корабли (АНК) имеют не меньше проблем, чем атомные подводные лодки. В основном это обусловлено тем, что при создании атомных надводных кораблей не был решен вопрос о создании комплекса для их базирования. В результате атомные установки АНК «Нахимов» и «Ушаков» длительное время эксплуатировались без капитальных ремонтов, так как базовые комплексы не могли обеспечить корабли необходимым электропитанием, паром и т. д. Ресурс оборудования был выработан очень быстро, средств для ремонта не выделялось, и корабли были выведены из эксплуатации.

* * *

Начиная с 90-х гг. прошлого века транспортательная атомная энергетика переживает глубокий кризис. Тенденция эта мировая, а не только российская. И связано это в первую очередь с прекращением глобального противостояния между Востоком и Западом. Региональные противоречия не требуют того уровня военного кораблестроения, которого оно достигло в период своего пика – в середине 70-х гг. XX века. Золотой век атомного кораблестроения послевоенного периода канул в Лету и без реальной угрозы глобальных катаклизмов вряд ли повторится в обозримой перспективе.

В. С. КИРСАНОВ

УНИЧТОЖЕННЫЕ КНИГИ: ЭХО СТАЛИНСКОГО ТЕРРОРА В СОВЕТСКОЙ ИСТОРИИ НАУКИ*

Обнаружены гранки набранных в 1938 г., но так и не изданных переводов книг классиков науки: «Начал» И. Ньютона, «Динамики» Г. В. Лейбница, а также – хрестоматии по истории физики, составленной известным советским историком науки Б. М. Гессеном. Подготовка и публикация этих книг отражает резкий подъем интереса к истории науки, который существовал в СССР в тридцатые годы XX века. Этот процесс был обусловлен разными факторами, прежде всего тем, что ряд ведущих советских ученых и общественных деятелей высоко ценили историю науки, а некоторые сами внесли в эту область существенный вклад (как, например, академик А. Н. Крылов, академик С. И. Вавилов или – Н. И. Бухарин – директор первого академического Института истории науки и техники), а кроме того, существовала небольшая группа образованных энтузиастов, способных осуществить квалифицированный перевод классических трудов с различных европейских языков, включая латинский. Советские издательства в течение долгого времени практиковали издание специальной серии «Классики естествознания» (в состав редакции которой, кстати, входили и С. И. Вавилов, и Б. М. Гессен), в рамках которой печатались эти переводы. Особую трудность в этом начинании представляли книги Галилея, Кеплера, Ньютона и Лейбница, поскольку они были написаны в основном по-латыни и в них был использован архаический математический аппарат, не знакомый современному читателю. В предлагаемой статье обсуждается актуальность издания «Начал» И. Ньютона и «Динамики» Г. В. Лейбница в контексте событий того времени: существующий перевод «Начал», сделанный А. Н. Крыловым, несмотря на чрезвычайно полезные математические комментарии, зачастую представляет собой модернизованную версию оригинала. Что же касается перевода «Динамики» – главного труда Лейбница по физике – то его в России вообще не существовало. Тем не менее отечественный читатель до сих пор не имеет в своем распоряжении этих книг. Дело в том, что, уже будучи набраны и пройдя все виды правок и проверок, эти книги так и не увидели свет: в 1938 г. их набор был рассыпан. Аналогичная судьба постигла и хрестоматию по истории физики, составленную Б. М. Гессеном. Следует предположить, что поводом к запрету на публикацию этих книг послужили аресты и последующая гибель людей, отвечавших за их издание, – С. Е. Аршона и Б. М. Гессена. Автор статьи исследует историю проблем переводов трудов Ньютона и Лейбница, анализирует их качество, а также делает попытку установить авторов, поскольку титульные листы и ряд страниц отсутствуют.

1.

30-е гг. XX в. были периодом все возрастающего интереса к истории науки в Советском Союзе: эти годы отмечены созданием Института истории науки и техники, а также публикацией большого числа книг в этой области, причем особое значение среди таких публикаций имели переводы классиков науки. Советские издательства

* Основные положения настоящей статьи были представлены в форме доклада XXII Международному конгрессу историков науки 28 июля 2005 г. (Пекин)