

## ПРОБЛЕМЫ КОРАБЛЕСТРОЕНИЯ И ОКЕАНОТЕХНИКИ

---

---

УДК 355

В.А. Васильев, И.Д. Романов, Е.А. Романова, А.Д. Романов

### ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ПОДВОДНЫХ ЛОДОК С ВОЗДУХОНЕЗАВИСИМЫМИ ЭНЕРГОУСТАНОВКАМИ В РОССИИ И СССР

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

В работе описана история создания в СССР и России подводных лодок с воздухонезависимыми энергоустановками в период с 1900 по 2000 год. Рассмотрены схемы воздухонезависимых энергоустановок.

*Ключевые слова:* подводные лодки, анаэробные, воздухонезависимые энергоустановки.

#### Введение

Классическая дизель-электрическая энергетическая установка (ДЭЭУ) подводной лодки (ПЛ) - фактически мера вынужденная, так как вынуждают ПЛ с определенной периодичностью подниматься на поверхность, для пополнения запасов воздуха и зарядки аккумуляторных батарей. Идеальным для подводной лодки является единый двигатель для надводного и подводного хода. У лодки с ДЭЭУ в подводном положении дизель фактически становится балластом, если только лодка не использует режим работы дизеля под водой (РДП), двигаясь на перископной глубине. В надводном положении обычной ПЛ, если на ней не реализован режим электродвижения, становятся "ненужными" электромоторы и аккумуляторные батареи. Таким образом подводная лодка постоянно "возит" в себе довольно массивное, объемное и дорогостоящее оборудование, которое используется только часть времени. Учитывая приблизительно одинаковый уровень оружия и радиоэлектронного вооружения большинства ПЛ западноевропейских стран, основных поставщиков ПЛ на мировом рынке, конкурентоспособность перспективных ПЛ будет во многом определяться типом двигателя, примененного в анаэробной энергоустановке. Даже применение новейшего с точки зрения энергопотребления, оборудования и радиоэлектроники не позволяет достичь непрерывного пребывания под водой более нескольких суток. Размещение на ПЛ атмосферонезависимой энергетической установки позволяет существенно повысить время пребывания под водой и дальность подводного хода, а следовательно основное их тактическое качество – скрытность.

#### **Работы по атмосферонезависимым энергоустановкам в России и СССР в период 1900–1930 гг.**

В поисках единого двигателя были опробованы самые разнообразные устройства. Первым из них был... человек, который потреблял сравнительно мало воздуха, но в качестве двигателя оказался слишком маломощен. Идея чисто электрической подводной лодки также зашла в тупик, поскольку даже с использованием самых совершенных аккумуляторов лодка способна проплыть не более нескольких сотен миль. Постепенно конструкторы подлодок пришли к выводу, что единый двигатель следует создавать на базе мотора не подводного хода, а наоборот - надводного. Для двигателей внутреннего сгорания наметились два пути: один впоследствии привел к РДП, а другой был связан с разработкой автономной силовой установки, не нуждающейся в атмосферном воздухе.

Первыми, кто попытался заставить двигатель внутреннего сгорания работать под водой, стали французские инженеры Бертен и Петитхомм.

Более удачную попытку создать подводную лодку с единым двигателем предпринял наш соотечественник инженер С.К. Джевецкий. В качестве единого предполагались два четырехтактных бензиновых двигателя фирмы "Панар-Левассор" мощностью по 130 л.с. В надводном положении бензиномоторы работали по обычной схеме, в подводном положении для обеспечения их работы в машинное отделение подавался воздух, хранившийся в 45 «воздухохранилищах» при давлении 200 атмосфер. Общий запас составлял около 11 м<sup>3</sup>, выхлопные газы откачивались через надстройку, расположенную под килем, выходя мелкими струйками из многочисленных отверстий отводной трубы, выхлопные газы должны были растворяться в воде. Строительство подводной лодки, получившей наименование "Почтовый", началось в 1906 г., 30 сентября 1908 г. она вошла в состав флота.

### Работы в период 1930–1941 гг.

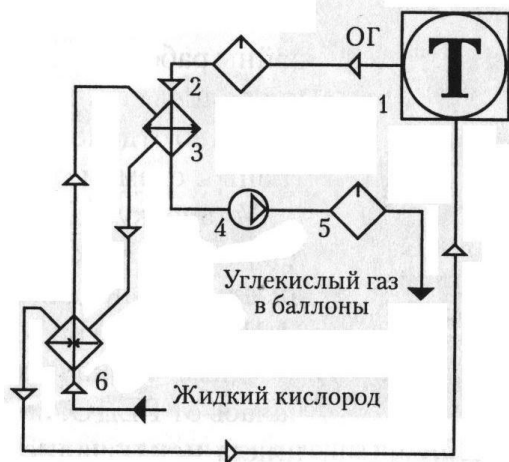
Первая мировая война прервала работы по созданию единых двигателей для подводных лодок, но уже с 1920-х годов в Советском Союзе и Германии вновь начались исследования в этой области. При этом от идеи просто разместить на подводной лодке большой запас воздуха сразу отказались, было принято решение хранить только кислород, причем в жидком состоянии, когда он занимает примерно в пять раз меньший объем, чем в баллонах под давлением 150 кгс/см<sup>2</sup>. Однако жидкий кислород непрерывно испаряется, а способы, замедляющие этот процесс, в тот период времени не были разработаны.

В предвоенные годы также родилась идея десантировать (сбрасывать) сверхмалые ПЛ с самолета, ее технической проработкой занимался Ленинградский филиал экспериментального института самолетостроения (ЛФЭИС) в 1935–1936 гг. Идея транспортировки малой ПЛ по воздуху принадлежала начальнику и главному конструктору ЛФЭИС И.Г. Гроховскому. Непосредственное руководство работами по созданию сверхмалой ПЛ, пригодной для сброса с самолета, было поручено инженерам М.Н. Кривову и В.К. Станкевичу. Поиск решения поставленной задачи начался с энергетической установки, более эффективной по сравнению с традиционными дизель-электрическими по удельной мощности. Остановились на энергоустановке, работающей в подводном положении по принципу теплового аккумулятора. Принимая во внимание, что рабочее тело (теплоноситель) такого аккумулятора должен быть легким, нетоксичным, обладать большой удельной теплоемкостью, хорошей теплопроводимостью, малым коэффициентом объемного расширения (при нагреве) и большой скрытой теплотой плавления в диапазоне температур от 200 до 700 градусов Цельсия, остановились на алюминии, находящемся в расплавленном состоянии. Энергоустановка должна была состоять из теплового аккумулятора с алюминиевым теплоносителем массой 1500 кг (около 550 л), нагреваемого теплом отработанных газов двигателя надводного хода (35 л.с.). Расчеты показали, что с такой установкой может быть создана ПЛ с корпусом из алюминиево-магниевых сплавов, длиной 6 - 7 м, диаметром корпуса 1 - 1,2 м, управляемая одним человеком, с одной малой торпедой, подвешенной под корпусом (с помощью авиационного бомбодержателя).

Работы по данной энергоустановке были продолжены, но уже применительно не к ПЛ, десантируемой с самолета, а к обычной ПЛ. Прорабатывалась возможность и целесообразность оснащения подобной установкой ПЛ типа "М" ("Малютка"). Для этого в октябре 1936 г. в НИВК было создано специальное конструкторское бюро, куда из ЛФЭИС перешли на постоянную работу М.Н. Кривов (начальник) и В.К. Станкевич (главный инженер). Испытания были продолжены на заводе № 196 ("Судомех"). В проекте для надводного и подводного хода предполагалось применить паровую турбину. В надводном положении паропроизводящей установкой являлся прямоточный котел системы профессора Л.К. Рамзина.

До войны возникло несколько направлений создания единого двигателя подводного и надводного ходов. Например, конструктор В. Л. Бжезинский предложил создать сверхмалую подводную лодку в виде погружающегося торпедного катера с установленным на нем «еди-

ным двигателем». В 1939 г. по его проекту началось строительство погружающегося торпедного катера М-400. Подводная лодка-катер имела водоизмещение надводное 35,3 т и подводное 74,0 т, два бортовых торпедных аппарата 450-мм калибра, пулемет, проектную скорость надводного хода - 33 уз и подводного - 11 уз. Работы до войны закончены не были. Корпус лодки-катера был поврежден при арт-обстреле Ленинграда, и в 1943 г. при 65%-ной готовности конструкции строительство его было прекращено.

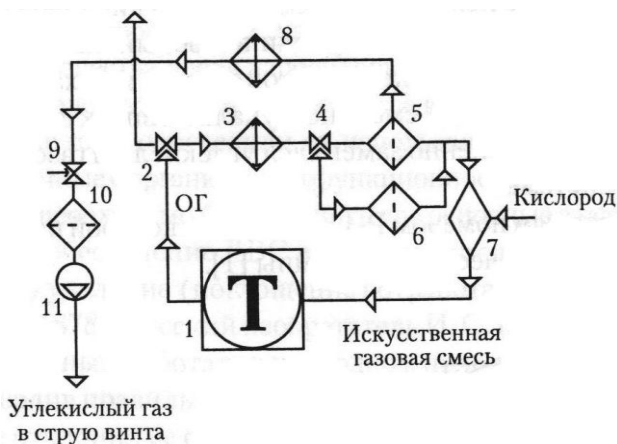


**Рис. 1. Принципиальная схема энергоустановки с РЕДО:**

1 – тепловой двигатель, 2 – сепаратор, 3 – конденсатор углекислого газа, 4 – компрессор, 5 – конечный сепаратор, 6 – испаритель кислорода

совершенно не выделяются вредные для человека газы. Проект был адаптирован к лодке типа «Н» и получил индекс «МТ». Но из-за чрезвычайно высокой в то время стоимости алюминия от детальной разработки проекта пришлось отказаться.

В 1936 г. по предложению инженера С. А. Базилевского для подводной лодки была создана установка «Редо» (регенеративный единый двигатель особого назначения). В установке «Редо» реализовывалась идея использования для работы двигателя под водой кислорода, причем кислород хранился на ПЛ в жидком (криогенном) состоянии. При работе дизеля в подводном положении выхлопные газы очищались от примесей и влаги, охлаждались и пополненные кислородом направлялись во всасывающий коллектор дизеля. Избыток выхлопных газов, на 75% состоявший из углекислоты, отсасывался компрессором и сжимался. Углекислый газ при этом превращался в жидкую углекислоту, которая сливалась сначала в специальные баллоны, а затем периодически - за борт. В 1938 г. установка была перенесена на строящуюся малую подводную лодку XII серии М-92, которая до войны прошла швартовые испытания и сделала несколько выходов в море.



**Рис. 2. Принципиальная схема энергоустановки с ЕД-ВВД:**

1 – тепловой двигатель, 2 – двухходовая заплюпка, 3 – главный холодильник, 4 – заплюпка байпаса, 5 – главный фильтр, 6 – фильтр байпаса, 7 – смеситель, 8 – холодильник газоотбора, 9 – регулятор газоотбора, 10 – фильтр газоотбора, 11 – компрессор

экспериментальной малой быстроходной ПЛ с "единым двигателем", работающим по замкнутому циклу. Этот тип энергоустановки получил наименование ЕД-ХПИ (единый двига-

тели. Нереализованным остался проект установки на ПЛ типа «С» единого двигателя. Обобщив все имевшиеся сведения о единых двигателях инженер-механик РККФ М.А. Рудницкий предложил использовать на субмарине паротурбинную силовую установку, в топках котлов которой вместо жидкого топлива сжигать алюминий в среде газообразного кислорода. Предложение основывалось на том факте, что при активном соединении алюминия или магния с кислородом выделяется значительное количество тепла и

совершенно не выделяются вредные для человека газы. Проект был адаптирован к лодке типа «Н» и получил индекс «МТ». Но из-за чрезвычайно высокой в то время стоимости алюминия от детальной разработки проекта пришлось отказаться.

В 1936 г. по предложению инженера С. А. Базилевского для подводной лодки была создана установка «Редо» (регенеративный единый двигатель особого назначения). В установке «Редо» реализовывалась идея использования для работы двигателя под водой кислорода, причем кислород хранился на ПЛ в жидком (криогенном) состоянии. При работе дизеля в подводном положении выхлопные газы очищались от примесей и влаги, охлаждались и пополненные кислородом направлялись во всасывающий коллектор дизеля. Избыток выхлопных газов, на 75% состоявший из углекислоты, отсасывался компрессором и сжимался. Углекислый газ при этом превращался в жидкую углекислоту, которая сливалась сначала в специальные баллоны, а затем периодически - за борт. В 1938 г. установка была перенесена на строящуюся малую подводную лодку XII серии М-92, которая до войны прошла швартовые испытания и сделала несколько выходов в море.

В 1938–1939 гг. ОКБ НКВД, размещавшееся позже на территории завода № 196, разработало технический проект 95 -

экспериментальной малой быстроходной ПЛ с "единым двигателем", работающим по замкнутому циклу. Этот тип энергоустановки получил наименование ЕД-ХПИ (единый двига-

тели. Нереализованным остался проект установки на ПЛ типа «С» единого двигателя. Обобщив все имевшиеся сведения о единых двигателях инженер-механик РККФ М.А. Рудницкий предложил использовать на субмарине паротурбинную силовую установку, в топках котлов которой вместо жидкого топлива сжигать алюминий в среде газообразного кислорода. Предложение основывалось на том факте, что при активном соединении алюминия или магния с кислородом выделяется значительное количество тепла и

тель с химвсасителем известковым). Дизель работал в подводном положении на газовой смеси, состоящей из инертного азота и искусственно добавляемого кислорода. Выхлопные газы из дизеля поступали в газоохладитель, где они охлаждались и освобождались от водяных паров и частично от механических примесей. Далее они направлялись в специальные химические фильтры, где отделялся углекислый газ и окись углерода. Затем производилось дальнейшее освобождение выхлопных газов от избыточной влаги, они обогащались газифицированным кислородом, и в дизельный отсек поступала газовая смесь, близкая по своему составу к обычному воздуху.

По пр. 95 заводом № 196 была построена и 1 июля 1941 г. спущена на воду ПЛ "М-401" (зав. № С-135). Испытания ПЛ проводились во время войны на Каспийском море. Она сделала 74 выхода, 68 погружений, прошла 2800 миль, из них под единым двигателем 360 миль. Скорость подводного хода ПЛ "М-401" достигала 12,5 узлов. После войны "С-92", которой возвратили обозначение "М-92", была вновь переоборудована под энергоустановку ЕД-ВВД. Главным конструктором энергоустановки был В.С. Дмитриевский (погиб 23 ноября 1942 г. во время пожара на ПЛ), главным конструктором ПЛ - А.С. Кассациер. Командиром ПЛ "М-401" был М.К. Шейхатович, командиром БЧ-5 - Ю.Н. Кузьминский.

### Работы в период 1945–1970 гг.

Основываясь на положительных результатах испытаний ПЛ "М-401", в июле 1946 г. вышло постановление Правительства СССР "О мерах по дальнейшему развитию работ в области создания ПЛ с единым двигателем". В соответствии с ним в ЦКБ-18 начались работы по созданию опытной ПЛ пр. 615 с энергоустановкой ЕД-ХПИ. Главным конструктором корабля был назначен А.С.Кассациер, его заместителями стали А.К.Назаров и С.Е. Липелис.

17 марта 1950 г. ПЛ пр. 615 была заложена на заводе № 196, спущена на воду 31 августа того же года, получив литерно-цифровое обозначение "М-254". Комплекс работ по достройке на плаву и испытаниям (швартовым, заводским, ходовым и государственным) был завершен в мае 1953 г. (приемный акт подписан 30 мая и утвержден 31 мая 1953 г.).

ПЛ пр. 615 и А615 значительно превосходили дизельные ПЛ пр. 96 (серия XV) по скорости и продолжительности непрерывного подводного плавания, а также предельной глубине погружения.

Государственные испытания показали, что тактико-тактические элементы ПЛ "М-254" пр. 615 в основном соответствовали спецификационным, несмотря на некоторые отступления и перенесение ряда испытаний, (в частности, по определению полной подводной автономности) на период эксплуатации ПЛ в составе флота.

Из общих недостатков в акте Государственной комиссии были отмечены:

- повышенная естественная испаряемость жидкого кислорода (дальность плавания подводным ходом обеспечивалась только в течение первых пять суток хранения жидкого кислорода);
- большая затесненность в отсеках, ухудшающая обитаемость личного состава; недостаточный моторесурс дизельных двигателей "М 50".

Для увеличения срока хранения кислорода в жидком состоянии вместо двух кислородных цистерн была установлена одна (уменьшалась поверхность хранилища) и, следова-



Рис. 3. ПЛ пр.А-615 QUEBEC (внешний вид к 1960 г., фото Н. Масловатого)

тельно, испаряемость кислорода, которая при сохранении той же емкости имела эллиптическую форму (для лучшего использования отведенной выгородки в 4-м отсеке) с улучшенной термоизоляцией. Для повышения живучести кислородную цистерну разместили в прочной выгородке, что при утечке кислорода из цистерны предотвращало его распространение по ПЛ и обеспечивало возможность его стравливания за борт на глубинах до 120 м (предельная глубина погружения).

Дизели марки "М 50" заменили на дизели №М 50П" с увеличенным до 600 часов ресурсом за счет снижения мощности до 700 л.с., что привело к некоторому уменьшению максимальной надводной и подводной скоростей хода. На валопроводах бортовых дизелей установили новые редукторы с муфтами, обеспечивающими свободное вращение гребных винтов при движении ПЛ под средним дизелем "32 Д". Были увеличены запасы химвсасывателя (на 0,5 т) и дизельного топлива (на 3,8 т).

В 1968 г. были прекращены планово-предупредительные ремонты этих ПЛ силами заводов. ПЛ стали выводить в резерв и в первой половине 70-х годов практически все ПЛ пр. А615 были выведены из состава ВМФ. Одним из существенных недостатков ПЛ с энергоустановками ЕД-ХПИ была ограниченная продолжительность хранения жидкого кислорода на борту ПЛ, даже при нахождении ПЛ в базе (из-за далеко не идеальной термоизоляции кислородных цистерн). Для устранения этого недостатка в 1954 - 1955 гг. был разработан технический проект "637" опытной ПЛ, в энергоустановке которой поглощение выхлопного углекислого газа и обогащение его кислородом осуществлялось с помощью твердого гранулированного вещества - надперекиси натрия.

### **Работы по ПЛ с парогатурбинной установкой**

После окончания Второй мировой войны (в соответствии с договором по разделу Германского флота) Великобритания, СССР и США получили по 10 ПЛ. В распоряжении Великобритании, в чью оккупационную зону входила северо-западная часть Германии, оказалась значительная часть архивов фирм "Блом унд Фосс" и "Германияверфт", которые вели строительство ПЛ с ПГУ. Кроме того, британские оккупационные власти получили документы германского штаба ВМФ и организовали работу бывших сотрудников отдела подводных лодок Управления кораблестроения, которые подбирали и упорядочивали проектные материалы по Германским ПЛ. С частью документации англичане познакомили союзников. Специалисты Советского Союза также проявили заинтересованность в использовании достижений Германского подводного кораблестроения. Уже в 1946 г. ЦКБ - 18, проектировавшее отечественные ПЛ, по разрозненным материалам из конструкторского бюро "Глюкауф" выполнило проработки ПЛ серии XXVI (пр. 616). Работы имели цель проанализировать принятые технические решения и определить реальный уровень тактико-технических элементов Германской ПЛ. Учитывая это, в 1947 г. Советское Правительство приняло решение о создании на территории Германии в г. Бланкенбурге специального конструкторского Бюро по воссозданию энергетической установки системы Вальтера. Его возглавил начальник ЦКБ - 18 А. А. Антипин.

Параллельно в Ленинграде ЦКБ-18 приступило к начальным проработкам отечественной ПЛ пр. 617 с парогатурбинной установкой, собранной из германских механизмов, найденных сотрудниками Бюро Антипина. Проработки выполнялись при научном сопровождении бывшего главного конструктора первых советских ПЛ Б.М.Малинина, работавшего в ЦНИИ-45 судостроительной промышленности.

С переходом работ по пр. 617 на стадию эскизного проектирования решили создать специальную проектную организацию. В марте 1948 г. по распоряжению Совета Министров СССР для разработки скоростных ПЛ и энергетических установок новых типов было организовано Специальное конструкторское бюро № 143 (СКБ-143). Ему и поручили работы по проекту 617. Начальником СКБ-143 и главным конструктором проекта 617 стал А.А. Антипин. Основу коллектива составили специалисты, работавшие с А.А. Антипиным в Германии, сотрудники ЦКБ-18 и ЦНИИ-45. В первую очередь при проектировании скоростной ПЛ пе-

ренивались наработки по обеспечению высоких пропульсивных качеств, по этой причине в отличие от других советских ПЛ первого послевоенного периода артиллерийское вооружение на ПЛ пр. 617 не устанавливалось. Кроме того, из германского опыта на ПЛ пр. 617 были заимствованы: устройство РДП (шнорхель) с заваливающейся мачтой, система продувания ЦГБ после всплытия в позиционное положение выхлопными газами дизелей, развитая система гидравлики, заменившая значительную часть пневмоприводов и тросовых подъемников выдвижных устройств, и установка дизель-компрессоров для пополнения запасов воздуха высокого давления.

В килевой части междубортного пространства на специальных рамах подвешивались 32 полихлорвиниловых мешка для хранения запаса перекиси водорода.

ПГТУ обеспечивала движение ПЛ на скорости от 10 уз до полной. Пуск установки мог производиться на глубинах погружения до 80 м, длительная работа (при полной нагрузке) - до 120 м и кратковременная (до 5 минут) - до 160 м. Мощность на валу зависела от глубины погружения - с увеличением глубины возрастали затраты на работу компрессора, удалявшего за борт углекислый газ. Кроме того, часть мощности ПГТУ отбиралась на вращение главного ГЭД в генераторном режиме. В зависимости от режима движения бортовой запас перекиси водорода обеспечивал ход под ПГТУ от 6 до 23 часов.



Рис. 4. ПЛ пр.617 WHALE на испытаниях

Подводная лодка "С-99" проекта 617 была единственной отечественной субмариной с парогазотурбинной установкой, работавшей в подводном положении. Установка работала на перекиси водорода, и принцип ее действия был таков: перекись водорода подается в камеру разложения насосом, под давлением  $40 \text{ кг/см}^2$ . В камере, в результате окисления, образуется парокислород. Он поступает в камеру сгорания, куда впрыскиваются также топливо и вода, в результате получается парогазовая смесь, которая и поступает на турбину. А углекислый газ и пар выбрасываются. Летом 1952 г. ПЛ "С-99" под командованием Н.Г.Симонова вышла на заводские испытания. "С-99" была предъявлена комиссии Государственной приемки кораблей только в апреле 1955 г, т.е. почти через 3 года после начала заводских испытаний.

В состав флота ПЛ "С-99" вошла в мае 1956 г. В приемном акте отмечалось, что по скоростным качествам и дальности плавания полным ходом ПЛ пр. 617 не имеет себе равных в отечественном подводном флоте. Но комиссия отметила и ряд недостатков. В частности, движение под ПГТУ на всех режимах сопровождалось высокой шумностью, которая демаскировала ПЛ и препятствовала использованию собственных гидроакустических станций. То есть на повышенных скоростях происходило "ослепление" ПЛ и потеря контроля за тактической обстановкой, которые усугублялись потерей скрытности действий ПЛ. Так появилось одно из серьезных противоречий концепции скоростных ПЛ (характерное в том числе и для атомных ПЛ первых поколений): высокая скорость была необходима для занятия позиции и выхода в атаку, но ее достижение сопровождалось потерей таких преимуществ ПЛ, как скрытность и упреждающее гидроакустическое обнаружение противника.

Вместе с тем ПГТУ имели и серьезные недостатки:

- ограниченное время использования за поход (1 - 3% ходового времени);
- зависимость характеристик работы ЭУ от глубины погружения ПЛ;
- высокая потенциально взрыво- пожароопасность использования на ПЛ такого активного окислителя как перекись водорода;
- высокая стоимость производства концентрированной перекиси водорода.

Перечисленные недостатки усугублялись "детскими болезнями" становления новой техники - низкой надежностью и неотработанностью оборудования. И все же возможность

успешного преодоления этой проблемы доказала доводка и последующая эксплуатация германских опытных ПЛ типов Wa 201 и WK 202.

Тем не менее, учитывая конкретные исторические условия и фактор времени, можно утверждать, что на период 40-х годов использование ПГТУ было практически единственным реальным техническим решением создания ПЛ, способных развивать скорость более 20 уз и эффективно действовать против целей с сильной противолодочной обороной. Появление ПГТУ создало условия для превращения "ныряющих" ПЛ в подлинно подводный корабль.

Поэтому смена парогазовых турбинных установок атомной энергетикой является естественной сменой поколений военной техники. ПГТУ не были тупиком, а стали лишь этапом развития, который был быстро пройден.

Параллельно с разработкой проекта 617 велись работы по более совершенным проектам лодок с ПГТУ: 617М, 635, 643, 647. Из них только проект 643 был доведён до конца, и даже получил хорошую реакцию от ВМФ, однако в производство проект не был отдан, в связи с началом активного строительства атомных ПЛ первого поколения проекта 627.

Проект	Описание
635	проект был признан нереализуемым, работы были прекращены
643	проект был одобрен ВМФ
647	проект не был завершён

После окончания войны в состав отечественного флота вошло несколько трофейных немецких океанских подводных лодок VII и XXI серий. Лодки XXI серии получили выдвижные устройства, обеспечивавшие работу дизелей под водой на перископной глубине. Дальность плавания в таком положении увеличивалась до нескольких тысяч миль. После войны в ленинградском ЦКБ-18 был разработан проект 614, предусматривавший достройку захваченных на германских верфях лодок XXI серии. Дальнейшего развития проект не получил, но позволил глубоко изучить наиболее интересные конструктивные решения.

#### Работы в период 1970–1990 гг.

В 1978 году специальным постановлением правительства функции головного разработчика энергоустановок были возложены на Союзное конструкторское бюро котлостроения (ныне ОАО СКБК). На первом этапе - с 1978 по 1986 год - СКБК совместно с соисполнителями разработаны ЭУ с ЭХГ для трех типов морских объектов: малой подводной лодки (МПЛ) "Пиранья", глубоководного подводного аппарата (ПА) "Поиск-6" и подводного средства движения (ПСД) "Сирена-К".



**Рис. 5. Подводная лодка проекта 613Э с электрохимическими генераторами**

К концу 80-х годов работы по энергоустановкам для ПА "Поиск-6" и ПСД "Сирена-К" были приостановлены после утверждения технических проектов и успешных испытаний макетных и опытных образцов основного оборудования ЭУ. В 1991 году в полном объеме были завершены работы по ЭУ с ЭХГ для МПЛ "Пиранья" (шифр ЭУ "Кристалл-20"). Впервые в отечественной практике по заказу Министерства обороны была разработана, изготовлена, отработана в стендовых условиях и сдана межведомственной комиссии полноразмерная энергетическая установка с ЭХГ мощностью 130 кВт, представляющая собой первое поколение российских корабельных ЭУ с ЭХГ.

Впоследствии в связи с успехами в создании атомных подводных лодок руководство советского ВМФ и отечественной судостроительной отрасли практически утратило интерес к неядерным «единым» двигателям для ПЛ. Лишь в первой половине семидесятых годов ми-

нувшего столетия работы в указанном направлении возобновились. На этот раз была предпринята попытка оснащения подлодки проекта 613 энерго установкой с электрохимическим генератором мощностью 280 кВт. В 1988 г. подлодка «Катран» проекта 613Э успешно прошла расширенные государственные испытания и подтвердила принципиальную возможность создания и эффективного использования новой энергетики. В 1989 г. закончились межведомственные испытания подводной лодки проекта 613Э с опытной энергетической установкой с электрохимическим генератором (разработчики - НПО "Квант" минэлектротехпрома и НПО "Криогенмаш" минхиммаша). Переоборудование вместе с ремонтом корабля продолжалось более 10 лет.

В течение шести месяцев специальная комиссия провела расширенные межведомственные испытания энергетической установки с электрохимическим генератором (ЭХГ). Впервые в практике отечественного кораблестроения был испытан в корабельных условиях и показал соответствующие проекту характеристики генератор "ЭХГ-280". Был сделан вывод о том, что ЭХГ как неатомный экологически чистый малошумный источник электроэнергии с прямым преобразованием химической энергии в электрическую является перспективным для применения в подводном судостроении. Он обладает рядом преимуществ перед традиционными источниками электроэнергии, в частности, позволяет в 5...10 раз увеличить дальность непрерывного подводного плавания экономическим ходом.

Однако развал Советского Союза и последовавшие после этого события на несколько десятилетий отбросили создание отечественной ПЛ с электрохимическим генератором.

#### Работы в период 1990 г. по настоящее время

Работы по новому поколению ПЛ с анаэробными энергоустановкам в СССР были начаты ЦКБ МТ "Рубин" (главный конструктор Ю.Н. Кормилицын) начаты в 1987 г. и по первоначальным планам планировалось строительство большой серии ПЛ на заводах "Ленинградское Адмиралтейское объединение" (г. Ленинград), "Севмаш" (г. Северодвинск), "Красное Сормово" (г. Нижний Новгород) и "им. Ленинского Комсомола" (г. Комсомольск-на-Амуре). Технический проект ПЛ пр.677 «Лада» утвержден в 1993 г., но переработан. Вторым технический проект утвержден в 1997 г. При создании ПЛ отработано 180 ОКР.

26 декабря 1997 года, первая российская неатомная подлодка 4-го поколения, названная «Санкт-Петербург», была заложена на закрытом стапеле ОАО «Адмиралтейские верфи» в Санкт-Петербурге. При ее закладке подразумевалось, что в процессе постройки она будет снабжена отечественной анаэробной установкой с ЭХГ, как и в немецком проекте 212.

Лодку удалось достроить лишь в 2007 году, и тогда же она вышла на заводские ходовые испытания. Практически в то же время на «Адмиралтейских верфях» началось строительство второй («Кронштадт») и третьей («Севастополь») НАПЛ проекта 677 «Лада» для ВМФ РФ.

С 1998 года к работам по созданию ЭУ с ЭХГ по техническому заданию ЦКБ МТ "Рубин" подключена РКК "Энергия" им. С.П.Королева (г.Королев), имеющая большой опыт создания установок с криогенными системами хранения реагентов для космических аппаратов.

В основу нового ЭХГ положены энергоблоки на основе топливных элементов щелоч-



Рис. 6. ПЛ Б-585 "Санкт-Петербург" пр.677 на Неве в Санкт-Петербурге в День ВМФ, 25-26 июля 2010 г.



Рис. 7. Компонировочная схема ПЛ "Амур-1650" пр.677Э



ного типа, разработанные УЭХК (г.Новоуральск) для многоразовой транспортной космической системы "Энергия-Буран" и отличающиеся высокой экономичностью и хорошими массогабаритными характеристиками. РКК "Энергия" совместно с ЦКБ МТ "Рубин" разработала автономную энергоустановку с криогенным хранением реагентов "РЭУ-99", которая встраивается в отсек длиной 9,8м и обеспечивает длительность плавания около 20 суток. Установка имеет номинальную мощность 300 кВт, коэффициент полезного действия не менее 70%, удельный расход кислорода при номинальной мощности ЭУ - 0,336 кг/кВт\*час, удельный расход водорода при номинальной мощности ЭУ - 0,042 кг/кВт\*час. Ввод установки с холодного состояния до полной номинальной мощности составляет не более четырех часов. Время заправки ЭУ с ЭХГ криогенными реагентами - 18,5 часов.

В состав энергоустановки входят: блоки хранения криогенного водорода и кислорода (БХВ и БХК), энергоблоки электрохимического генератора с блоками управления, локальная система управления, система пожаровзрывопреждения, блоки криогенной и газовой арматуры, система терморегулирования, трубопроводы, и согласующий преобразователь (СП). СП обеспечивает возможность параллельной работы ЭХГ, как источника нерегулируемой мощности, и АБ. В зависимости от режима ЭЭС СП работает в режиме вольтдобавочного устройства или в режиме широтно-импульсного модулятора для понижения напряжения ЭХГ. СП состоит из шести отдельных блоков для каждого энергоблока ЭХГ и обеспечивает также их электрическую защиту и параллельную работу энергоблоков между собой.

### Выводы

Субмарины с гибридными ЭУ уже в настоящее время по своим характеристикам не только приблизились к атомоходам, но по некоторым показателями даже превосходят их. Так, в ходе двух учений в Атлантике, прошедших в 2003 г., шведская подводная лодка Halland с анаэробными двигателями Стирлинга «победила» в дуэльной ситуации испанскую субмарину с обычной дизель-электрической установкой, а затем и французскую атомную лодку. Она же в Средиземном море одержала верх в «схватке» с американской атомной подводной лодкой Huston. При этом необходимо отметить, что малозумный и высокоэффективный Halland стоит в 4,5 раза дешевле своих атомных соперников.

Рынком сбыта ПЛ с анаэробными энергоустановками является международный рынок вооружений, где в настоящее время существует устойчивый спрос на ПЛ со стороны стран Латинской Америки, Юго-Восточной Азии и Ближнего и Среднего Востока. В целом, ориентировочная рыночная ниша (до 2050 года) составляет от 200 до 400 ПЛ, при средней стоимости ПЛ около 300-400 млн. долларов США. Данный прогноз основывается на том, что в период 1970-1985 гг. Германией и СССР интенсивно строились и экспортировались в страны НАТО, Варшавского Договора, Индию, Китай и другие страны «третьего мира» в значительном количестве немецкие ПЛ типа 209 и советские класса «Фокстрот» и «Ромео» (проект 641 и 633/033). В настоящее время эти ПЛ входят в состав 30 флотов зарубежных стран. Учитывая, что срок службы оценивается в 30 лет, можно ожидать, что большинство вышеперечисленных стран будут приобретать новые ПЛ вместо устаревших подводных лодок, исчерпавших свой ресурс. В настоящее время анаэробные энергоустановки уже востребованы рынком, так в ходе объявляемых тендеров на поставку ПЛ иностранные заказчики чаще требуют подтверждения возможности оснащения в ходе строительства или модернизации атмосферонезависимыми энергоустановками.

Если в 2004 году в структуре продаж военной техники ФГУП «Рособоронэкспорта» до 60% занимало авиационное вооружение, то в 2005 году этот баланс изменился в сторону продукции для военно-морских сил. От реализации данной продукции в государственную казну поступило 3 млрд долл. США из 5 млрд, полученных за продажу всей военной техники за рубеж. Причем более половины этой суммы пришлось на поставку и ремонт неатомных подводных лодок (НАПЛ). Никогда раньше подводный флот не занимал столь значительной доли в структуре российского военного экспорта. По оценкам ведущих специалистов этот сегмент рынка военной продукции имеет тенденции к значительному расширению. Так по

прогнозу влиятельного журнала Forecast International до 2014 гг. со стапелей судостроительных верфей должны сойти около 100 субмарин на общую сумму 80 млрд долл. США. По словам заместителя генерального директора ФГУП «Рособоронэкспорт» В.Пахомова конкуренция между основными производителями неатомных лодок резко обострилась и российским производителям придется буквально бороться за потенциальных заказчиков. Необходимо отметить, что в последнее время по ряду технологий подводного кораблестроения российские компании стали отставать от зарубежных конкурентов, прежде всего от немецких, шведских и французских производителей НАПЛ. К числу критичных технологий в первую очередь относятся создание анаэробных (воздухонезависимых) энергетических установок. Данное отставание уже в ближайшее время может привести к массовому свертыванию производства отечественных субмарин, поставляемых на экспорт, потери научной и технологической базы сотен российских предприятий военно-промышленного комплекса (ВПК).

#### Библиографический список

1. Дядик, А.Н. Корабельные воздухонезависимые энергетические установки / А.Н. Дядик, В.В. Замуков, В.А. Дядик. – СПб: Судостроение. 2006. – 424 с.
2. Бабанин, В.А. Подводные лодки с единым двигателем / В.А. Бабанин. – СПб.: Гангут, 1998. – 145 с.
3. Платонов, В.А. Подводные лодки / В.А. Платонов. – СПб.: ООО «Издательство «Полигон»», 2002. – 256 с.
4. Игнатъев, Э.П. Первая подводная лодка с единым двигателем // Судостроение. 1992. №5. С 46-49.
5. <http://www.ckb-rubin.ru>

*Дата поступления  
в редакцию 16.10.2012*

**V.A. Vasiliev, I.D. Novels, E.A. Romanov, A.D. Romanov**

### **HISTORY OF DEVELOPMENT OF SUBMARINES WITH AIRINDEPENDENT POWER INSTALLATIONS IN RUSSIA AND THE USSR**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

In this work the creation history in the USSR and Russia of submarines with airindependent power installations during the period with 1900 for 2000 is described. Schemes airindependent power installations are considered.

The first in Russia in 1907 attempt of creation of PL with the uniform engine was undertaken by S.K.Dzhevetsky, according to his project PL "Post" was constructed. In surface situation benzinomotor worked according to the usual scheme, in underwater situation for ensuring their work in an engine room the air stored at pressure of 200 atmospheres moved.

Theoretical and skilled works on creation of the small PL intended for transportation by air were carried out to the period before the Second World War. Also theoretically also the PL following power installations with the uniform engine were experimentally studied: REDO, IVR installation, EDVVD, EDHPI. On the basis of power installation EDHPI an A615 project PL series was designed and constructed. In 1954-1955gg. the engineering design of skilled PL (project 637) with the uniform engine working on the scheme of PIECE of HPI, but with use of new type of an oxidizer - надперекиси sodium was executed.

In SKB-143 there was developed PL "S-99" of the project 617 unique domestic PL with the parogazoturbiny installation working in underwater situation. In parallel with development of the project 617 works on more perfect projects of boats were conducted with PGTU: 617M, 635, 643, 647.

Also the project of equipment of PL project 613 power installation with the electrochemical generator in capacity of 280 kW was developed. In 1989 tests of the submarine of the project 613E the creations which have confirmed basic possibility and efficiency of application of a new power source of the Square successfully ended. In 1993 was developed the engineering design of PL project 677 "Lada". The first Russian not nuclear submarine of the 4th generation, called "St. Petersburg", was put on JSC Admiralty Shipyards building berth in St. Petersburg. At its book-mark it was meant that in the course of construction it will be supplied with domestic anaerobny installation with EHG, as well as in the German project 212.

*Key words:* submarines, anaerobny, airindependent power installations.