УДК 681.883.67:623.827
EDN: RHLHGO

А.В. Виноградов, В.В. Савенко, В.И. Таровик
ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург, Россия

БОРТОВЫЕ АНТЕННЫ ЗАРУБЕЖНЫХ ПОДВОДНЫХ ЛОДОК

Объект и цель научной работы. Рассмотрены технические решения по снижению акустических помех работе бортовых антенн гидроакустических комплексов (ГАК), установленных на зарубежных подводных лодках (ПЛ).
Материалы и методы. Обзор основных типов бортовых гидроакустических антенн, установленных на современных атомных и неатомных зарубежных ПЛ, а также средств снижения помех их работе.
Основные результаты. Выявлены конструктивные решения по опорным конструкциям и обтекателям бортовых антенн, обеспечивающим снижение акустических помех их работе.
Заключение. Установлено, что разработанные зарубежными специалистами конструктивные решения по средствам снижения помех работе бортовых гидроакустических антенн в составе ГАК, установленных на ПЛ ряда стран, обеспечивают работу антенн в скрытном пассивном режиме.
Ключевые слова: подводные лодки, бортовые гидроакустические антенны, снижение помех работе гидроакустических комплексов.
Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

UDC 681.883.67:623.827
EDN: RHLHGO

A.V. Vinogradov, V.V. Savenko, V.I. Tarovik
Krylov State Research Centre, St. Petersburg, Russia

FLANK SONAR ARRAYS OF FOREIGN SUBMARINES

Object and purpose of research. This paper discusses technical solutions towards mitigation of acoustic interference to operation of flank sonar arrays aboard foreign submarines.
Materials and methods. The paper reviews main types of flank sonar arrays of modern nuclear and conventional subs of foreign navies, as well as their respective interference mitigation tools.
Main results. The authors identify design solutions for bearing structures and fairings of flank sonar arrays toward mitigation of their acoustic interference.
Conclusion. It is established that design solutions adopted by a number of foreign navies towards interference mitigation of flank sonars aboard submarines ensure their operation in stealthy passive mode.
Keywords: submarines, flank sonar arrays, sonar interference mitigation.
The authors declare no conflicts of interest.

Введение
Introduction

Бортовые гидроакустические антенны, установленные на зарубежных подводных лодках, являются обязательным элементом современных гидроакустических комплексов, существенно расширяя возможности обнаружения и пеленгации неприятельских ПЛ и других подводных и надводных морских объектов в скрытном пассивном режиме.

На многоцелевых ПЛ бортовые антенны используют также для целеуказания и наведения торпедного оружия при атаке обнаруженных целей. Для повышения эффективности работы ГАК при освещении подводной обстановки зарубежные специалисты разработали различные варианты борто-

Для цитирования: Виноградов А.В., Савенко В.В., Таровик В.И. Бортовые антенны зарубежных подводных лодок. Труды Крыловского государственного научного центра. 2026; 2(416): 149–160.
For citations: Vinogradov A.V., Savenko V.V., Tarovik V.I. Flank sonar arrays of foreign submarines. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2026; 2(416): 149–160 (in Russian).

вых антенн, а также опорных конструкций и обтекателей таких антенн, позволяющих снизить акустические помехи их работе. В статье выполнен обзор основных типов бортовых антенн и средств снижения акустических помех их работе в составе ГАК, обеспечивающих эффективную работу ГАК зарубежных ПЛ – как атомных (АПЛ), так и неатомных (НАПЛ).

Появление бортовых гидроакустических антенн на подводных лодках

Introduction of flank sonar arrays for submarines

Исследования в направлении повышения эффективности работы и расширения возможностей ГАК ПЛ по поиску надводных и подводных целей путем разработки специальных бортовых антенн, в дополнение к носовым антеннам, начались за рубежом в 1960–1970-х гг. В то время были созданы первые сравнительно малошумные (тогда их называли «бесшумные») АПЛ со сниженными уровнями излучаемого шума, что значительно усложнило их поиск и обнаружение [1]. Возросли также сложности определения координат малошумных АПЛ и НАПЛ с использованием имевшихся носовых гидроакустических антенн [2].

Приходилось учитывать, что в ряде ситуаций было неприемлемо использовать для поиска подводной цели методы активной гидролокации по вторичному акустическому полю, формируемому отраженным от неприятельской ПЛ гидроакустическим сигналом, т.к. это приводило к потере скрытности многоцелевой ПЛ, ведущей поиск. Поисковые возможности носовой антенны, размеры которой ограничены возможностью ее размещения в носовой оконечности ПЛ, стали недостаточны, возникла необходимость в новых средствах, обеспечивающих более эффективную работу ГАК в скрытном пассивном режиме. Такими средствами стали антенны, размещенные на бортовых поверхностях корпуса ПЛ [3]. Разработка средств снижения акустических помех работе бортовых антенн осложнялась однокорпусной архитектурой зарубежных АПЛ [1], при которой антенны можно было размещать только в надстройке или на наружной поверхности прочного корпуса.

Известно [4], что впервые две бортовые антенны были установлены вдоль бортов надстройки прочного корпуса многоцелевых АПЛ Великобритании типа «Свифтшуе» (головная АПЛ вошла в состав флота в 1973 г.). Каждая антенна включала линейку из 24 гидрофонов, использовавшихся для работы в диапазоне частот 1–3 кГц. Бортовая антенна имела максимум чувствительности в направлении, перпендикулярном линейке гидрофонов, и при длине звуковой волны в воде на этих частотах 1,5–0,5 м, что позволяло с достаточной точностью определять направление на шумящую цель путем смены курса АПЛ с выполнением ряда поворотов в процессе поиска. Класс цели определялся по спектру излучаемого подводного шума: например, широкополосный шум обычно создавали кавитирующие гребные винты, а шум с узкополосными максимумами спектра соответствовал высшим гармоникам циркуляционного насоса забортной воды или «зубцовым» частотам главного редуктора АПЛ [4].

Позже аналогичное решение было реализовано на дизель-электрических ПЛ (ДЭПЛ) Швеции типа «Накен» и «Вастерготланд» (построенных в 1970–1980-х гг.), где также установили первые образцы линейных бортовых антенн в надстройке [5].

В дальнейшем развитие электроники позволило применять аппаратурное формирование направленности бортовой линейной антенны для определения пеленга цели. Затем кроме линейки гидрофонов (или отрезка буксируемой антенны, размещенного на борту корпуса под обтекателем) на бортах стали устанавливать по три специально разработанных отдельных антенны. Использование метода триангуляции по сигналам, принятым этими антеннами, позволило в режиме реального времени получать данные не только о направлении на цель, но и о расстоянии до нее, т.е. более точно определять ее местонахождение при торпедной атаке [3].

Новые бортовые антенны, где каждая линейная антенна была дополнена размещенными на боковой поверхности надстройки тремя антеннами триангуляции, были установлены на ДЭПЛ Великобритании типа «Апхолдер» (головная ДЭПЛ принята в состав флота в 1991 г.). Аналогичные бортовые антенны стояли согласно [5] на ДЭПЛ Швеции типа «Валрус» (головная вступила в строй в 1981 г.) и типа «Готланд» (головная вступила в строй в 1996 г.), на ДЭПЛ Норвегии типа «Ула» (головная вступила в строй в 1989 г.), на ДЭПЛ Австралии типа «Коллинс» (головная вступила в строй в 1996 г.), на ДЭПЛ Японии типа «Харушио» (головная вступила в строй в 1990 г.) и типа «Ояшио» (головная вступила в строй в 1998 г.). В ВМС Франции первые бортовые антенны [5] появились на модернизированных АПЛ типа «Рубин/Аметист» (головная АПЛ «Аметист» с такими антеннами вступила в строй в 1992 г.).

Снижение помех работе бортовых гидроакустических антенн на современных атомных подводных лодках США

Interference mitigation measures adopted for flank sonars of modern nuclear USN subs

Первыми АПЛ США, на которых в дополнение к носовым и буксируемым антеннам были установлены бортовые антенны, стали многоцелевые АПЛ типа «Сивулф» (головная SSN 21 вступила в строй в 1997 г.). Для новой АПЛ XXI в. впервые было задано повышение поисковой скорости не менее чем до 20 уз [6–8], поэтому, помимо уменьшения излучаемого шума, большое внимание при проектировании SSN 21 уделили снижению помех работе ГАК в скрытном пассивном режиме [9, 10], включая бортовые антенны.

В обеспечение выполнения новых требований, как по излучаемому шуму, так и по помехам работе ГАК на повышенных (акустических) скоростях хода, при создании АПЛ были применены все известные методы акустического проектирования кораблей [11]. Учитывалось, что акустические помехи работе бортовых антенн [12] обусловлены в основном работой установленного в корпусе оборудования, а также возрастающими на повышенных скоростях хода гидродинамическими шумами обтекания потоком воды, что потребовало разработки соответствующих средств снижения помех.

Технические решения, разработанные для уменьшения излучаемого АПЛ типа «Сивулф» шума и акустических помех работе ГАК, включающие применение малошумного водометного движителя, размещение оборудования на звукоизолированных платформах, нанесение на корпус гидроакустического покрытия, а также создание эффективных средств снижения помех работе ГАК, в т.ч. для бортовых антенн, были проверены на крупномасштабных (самоходной и всплывающей) моделях в условиях уникального глубоководного малошумного полигона [13, 14]. В результате большого по продолжительности и стоимости комплекса работ была создана уникальная по ходовым и акустическим характеристикам АПЛ SSN 21 «Сивулф».

Новые бортовые широкоапертурные (WAA) гидроакустические антенны установлены по три на борт на поверхности наружного прочного корпуса АПЛ «Сивулф» (рис. 1). Размеры каждой прямоугольной антенны согласно [12] составляют 3,9×2,1 м, частотный диапазон работы – 2–8 кГц. Они обеспечивают поиск и отслеживание траектории шумящих целей по глубине и азимуту (триангуляции), а также позволяют определять расстояние до цели. Поскольку бортовые антенны входят в состав станции AN/BQG-5D и обеспечивают непрерывное целеуказание при торпедной стрельбе в скрытном пассивном режиме, эту систему обычно называют Raplock (быстрая локация).

Каждая бортовая антенна с 404 гидрофонами из пьезокерамики имеет звукоизолирующую «подкладку» (экран) из резины с воздушными полостями, размещенную на прямоугольной стальной установочной пластине, прикрепленной к корпусу. Длина и ширина (в плане) стальной установочной пластины примерно в 2,5 раза больше, чем размеры антенны, а толщина близка к толщине обшивки прочного корпуса. Согласно отечественным исследованиям [15, 16], закрепленная на оболочке корпуса дополнительная масса позволяет значительно снизить вибрацию и звукоизлучение соответствующего участка корпуса. Поэтому наличие на корпусе в месте установки бортовой антенны массивной и жесткой пластины вместе со звукоизолирующим экраном позволяет уменьшить помехи работе ан-

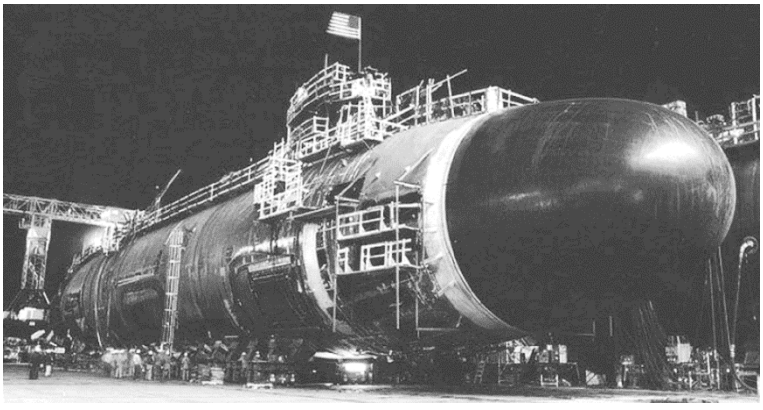

Рис. 1. Головная атомная подводная лодка военно-морских сил США «Сивулф» в процессе постройки с бортовыми антеннами (первая антенна еще без обтекателя)

Fig. 1. First-of class *Seawolf* (SSN-21) submarine of US Navy under construction: the fairing of the first flank sonar array is not installed yet

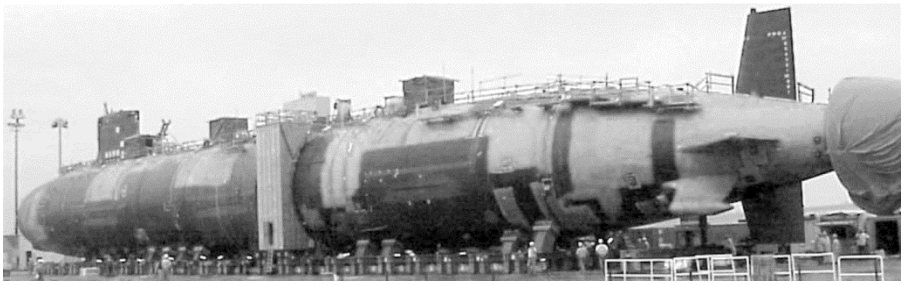

Рис. 2. Атомная подводная лодка «Вирджиния» с бортовыми антеннами (покрытие на корпусе еще не нанесено)

Fig. 2. USS *Virginia* (SSN-774) with flank sonar arrays (hull coating not installed yet)

тенны, обусловленные вибрациями корпуса, возникающими при работе оборудования.

Куполообразные композитные обтекатели антенн сочетают звукопрозрачность с демпфированием, что позволяет снизить гидродинамические помехи работе бортовых антенн. Вместе с установочными пластинами и виброизолирующими «подкладками» большие обтекатели заметно выступают над поверхностью корпуса. Антенны смещены ниже плоскости ватерлинии для снижения влияния на принимаемый сигнал отражений от поверхности воды, а также для уменьшения гидролокационного отражения от АПЛ в горизонтальной плоскости, поскольку пьезокерамика хорошо отражает звук [17]. Кроме того, смещение бортовых антенн в нижнюю часть корпуса позволяет снизить нежелательное воздействие на их обтекатели ледовых образований при всплытии и действиях АПЛ в ледовых условиях [18]. Известно, что большие размеры бортовых антенн были одной из причин срыва с них первого варианта обтекателей, когда головная АПЛ «Сивулф» развила при испытаниях (еще без наружных покрытий) максимальную скорость 38 уз. Позже антенны и обтекатели были усовершенствованы.

Опыт создания АПЛ «Сивулф» с высокими поисковыми скоростями был использован позднее при разработке более дешевых, меньших по водоизмещению и менее скоростных АПЛ США типа «Вирджиния», строящихся в настоящее время серийно. Одним из главных требований к многоцелевой АПЛ «Вирджиния» согласно [8, 11, 19] было обеспечение акустических характеристик, которые в части низких уровней излучаемого шума и повышенных поисковых скоростей хода не должны уступать АПЛ «Сивулф» [20, 21]. Головная АПЛ «Вирджиния» SSN 774 вступила в строй в 2004 г., на ней установлен усовершенствованный ГАК AN/BQG-10, включающий более «тонкие» бортовые WAA антенны (рис. 2, 3) системы Raplock [11] с соответствующими средствами снижения помех.

Конструктивные решения по бортовым антеннам и средствам снижения акустических помех их работе аналогичны ранее разработанным для АПЛ «Сивулф».

На серийных АПЛ типа «Вирджиния», начиная с модификации «Блок 4», устанавливают [8] «легкие» антенны LWWAA (их первый комплект поставлен в 2016 г.) с меньшей толщиной и отража-

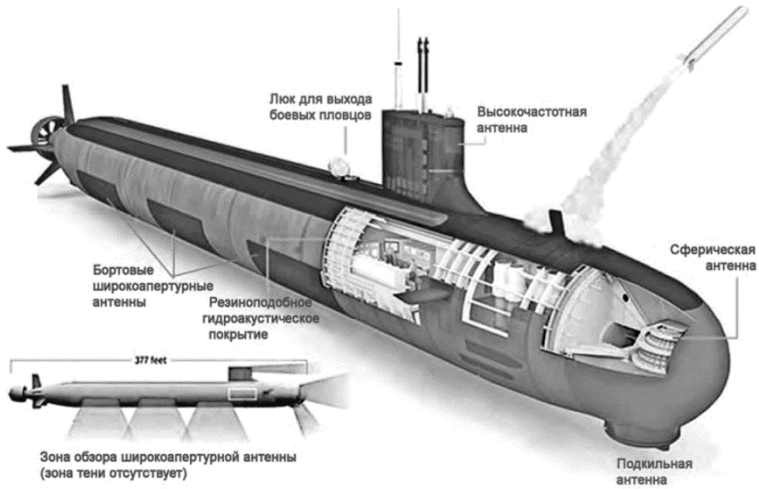

Рис. 3. Основные антенны гидроакустического комплекса AN/BQG-10 атомной подводной лодки типа «Вирджиния»

Fig. 3. Main arrays of AN/BQG-10 sonar suite aboard Virginia-class SSN

тельной способностью (рис. 4). Это достигнуто за счет новых интерферометрических стекловолоконных датчиков звукового давления. Оптоволоконный датчик FOAS работает по принципу измерения разности фаз двух излученных (первоначально когерентных) оптических сигналов, один из которых проходит по обмотке (намотанной на податливую пластиковую оправку) чувствительного элемента, изменяющего форму под воздействием измеряемого звукового давления. Второй сигнал проходит по аналогичной тестовой обмотке из стекловолокна (не меняющей свою длину) на жесткой алюминиевой оправке. Измеряемая интерферометром разность фаз позволяет определить уровень звукового давления, излучаемого источником шума, и направление на источник.

В дальнейшем предполагается создать для бортовых антенн более чувствительные и помехоустойчивые оптоволоконные датчики колебательной скорости Caves WAA.

Следует отметить, что на ранее построенных атомных подводных лодках с баллистическими ракетами (ПЛАРБ) США типа «Огайо» (головная вступила в строй в 1981 г.) бортовые антенны не устанавливали.

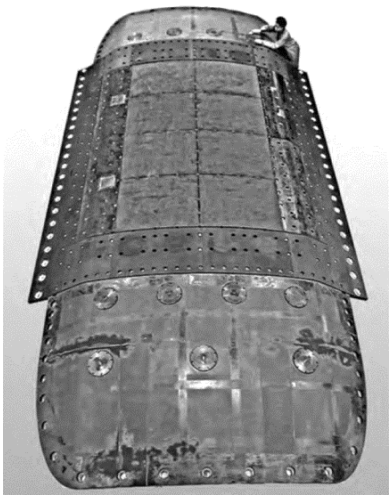

Рис. 4. Первая легкая бортовая антенна LWWAA с интерферометрическими датчиками

Fig. 4. First light flank array LWWAA with interferometric sensors

Снижение помех работе бортовых гидроакустических антенн на современных атомных подводных лодках Великобритании

Interference mitigation measures adopted for flank sonars of modern nuclear RN subs

Отличающееся от вышеизложенного конструктивное решение для бортовых антенн принято на современных многоцелевых АПЛ Великобритании [22] типа «Эстьют» (головная S 94 вступила в строй в 2010 г.). Входящие в состав ГАК типа 2076 [4, 9] прямоугольные бортовые широкоапертурные антенны увеличенных размеров расположены [23] симметрично относительно горизонтальной плоскости прочного корпуса АПЛ, что обеспечивает поиск малошумных как надводных, так и подводных целей на больших расстояниях (рис. 5).

Носовая бортовая антенна большого размера (около 10×5 м) расположена в районе второго, самого длинного и сравнительно малошумного отсека АПЛ «Эстьют» [22]. В этом отсеке располагаются служебные и жилые помещения, а также сравнительно малошумное вспомогательное оборудование, что обеспечивает минимальные акустические помехи от его работы. В пределах большой антенны аппаратурно можно выделить прямоугольные участки в ее носовой и кормовой

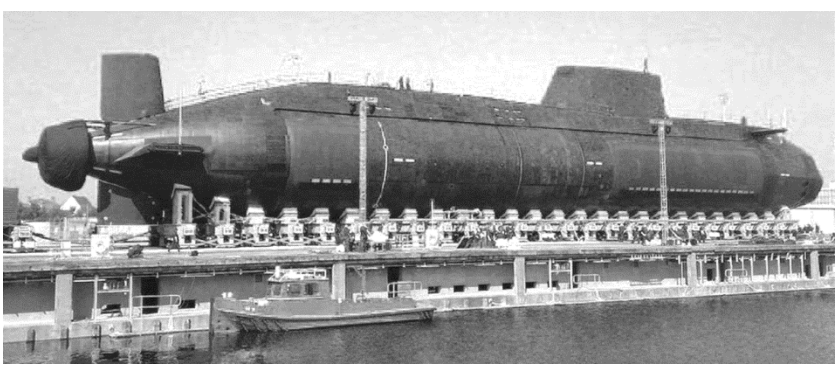

Рис. 5. Атомная подводная лодка типа «Эстьют» (бортовые антенны обозначены пунктирами)

Fig. 5. Astute-class nuclear submarine (flank sonar arrays are shown with dashed lines)

частях, которые используются в виде двух бортовых антенн станции пассивного определения пеленга и дальности до цели [3]. Третья бортовая антенна с размерами примерно 5×5 м, также используемая для триангуляции, размещена ближе к концу прочного корпуса, в районе наиболее шумного кормового энергетического отсека. Суммарная толщина пьезокерамических антенн, системы виброшумоизолирующих средств (экранов) и обтекателей составляет 0,4–0,5 м. Наклонные переходные участки от обтекателей до прочного корпуса, на бортовой поверхности которого нанесено утолщенное гидроакустическое покрытие, имеют длину около 0,8 м [4].

Рис. 6. Обтекатель планарной бортовой антенны атомной подводной лодки с баллистическими ракетами типа «Триомфан»

Fig. 6. Flank sonar fairing of *Triomphant*-class SSBN

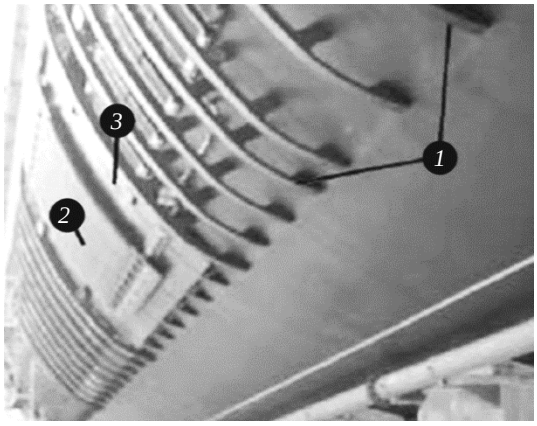

Рис. 7. Планарная бортовая антенна атомной подводной лодки с баллистическими ракетами типа «Триомфан» со снятым стеклопластиковым обтекателем. *1* – опорные поперечные рамы экранов бортовой антенны; *2* – секция антенны; *3* – секция шумозаглушающего экрана антенны

Fig. 7. Planar array of *Triomphant*-class SSBN flank sonar (GRP fairing dismounted): *1* – bearing transverse frames of flank sonar screens; *2* – array section; *3* – noise-damping screen section

Сообщалось о модернизации бортовых антенн [19], позволяющей уменьшить их толщину примерно на 30 %, снизить содержание воздуха на 50 %, уменьшить обжатие при погружении на глубину, а также снизить акустические помехи за счет новых технологий изготовления гидрофонов и резиновых плиток экранирующей подложки. Предполагается в новой модульной бортовой антенне вместо 1000 отдельных гидрофонов установить 13 модулей и 8 мультиплексоров.

Снижение помех работе бортовых гидроакустических антенн на современных атомных подводных лодках Франции

Interference mitigation measures adopted for flank sonars of modern nuclear French subs

Первые на ПЛ Франции прямоугольные планарные бортовые антенны с обтекателями (рис. 6) были установлены на ПЛАРБ типа «Триомфан» (головная S-616 вступила в строй в 1997 г.). Широкоапертурная бортовая антенна выполнена не из пьезокерамики, а из 32 конформных (изогнутых вдоль поверхности корпуса) панелей из полимера PVDF с размерами 1×5 м и толщиной 0,1 м, каждая из которых работает как многоэлементный акустический преобразователь [19]. Большая площадь антенны позволяет повысить отношение измеряемого сигнала к шумовым помехам от оборудования и обтекания потоком воды.

Для снижения помех от работы оборудования панели антенны установлены поверх шумозаглушающих экранов, закрепленных с зазором (свободно заполняемым водой) на наружном прочном корпусе. Крепление антенны с экранами осуществлено посредством дугообразных металлических рамных конструкций (рис. 7). Поверх антенны устанавливается стеклопластиковый обтекатель [24, 25] таким образом, чтобы щели для протекания воды между обтекателем и прочным корпусом

Fig. 8. Future SSBN SNLE-3G.
1 – forward sonar array (U-shaped) with increased aperture; *2* – sail with planes; *3* – non-penetrating masts; *4* – ballistic missiles (16 silos); *5* – stabilizing fin with towed array release gear; *6* – pumpjet; *7* – X-shaped stern fins; *8* – reactor; *9* – wide-aperture flank sonar; *10* – torpedo tubes (x4)

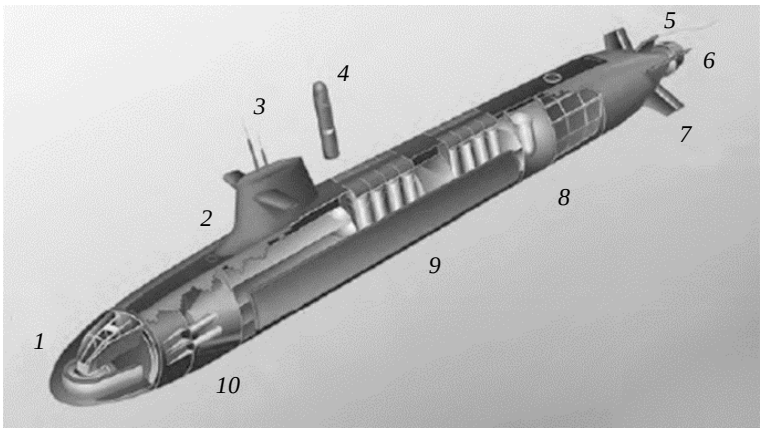

Рис. 8. Перспективная атомная подводная лодка с баллистическими ракетами SNLE-3G. *1* – носовая подковообразная антенна гидроакустического комплекса с увеличенной апертурой; *2* – ограждение выдвижных устройств с горизонтальными рулями; *3* – не проникающие в прочный корпус телескопические мачты выдвижных устройств; *4* – баллистические ракеты в 16 шахтах; *5* – стабилизатор-плавник с устройством для выпуска ГПБА (гибкая протяженная буксируемая антенна); *6* – движитель pump-jet; *7* – Х-образное кормовое оперение; *8* – ядерный реактор; *9* – широкоапертурная бортовая антенна гидроакустического комплекса; *10* – четыре торпедных аппарата

были минимальны, как и щели между надстройкой и корпусом ПЛАРБ (рис. 6).

На новых строящихся серийно многоцелевых французских АПЛ типа «Барракуда» (головная АПЛ «Сюффрен» S 635 передана ВМС в 2020 г.) ГАК типа TSM 3000 также включает бортовые антенны типа Planar, установленные побортно и работающие в диапазоне низких и средних звуковых частот [26, 27]. Антенны включают набор конформных панелей из полимера PVDF, отличающихся пластичностью и ударопрочностью. Использование широкоапертурных бортовых антенн со средствами снижения акустических помех в составе ГАК позволяет эффективно выполнять обнаружение, классификацию и определение местоположения целей в пассивном режиме.

На перспективных ПЛАРБ Франции нового поколения [28, 29] типа SNLE-3G, как и на ПЛАРБ США типа «Колумбия» SSBN 826 и ПЛАРБ Великобритании типа «Дредноут», планируется установка ГАК с различными антеннами, включая конформные носовые антенны, буксируемые антенны, а также бортовые антенны большой площади (рис. 8). Разработка перспективного ГАК, антенны которого обеспечат круговой обзор гидроакустической обстановки в скрытном пассивном режиме в широком диапазоне частот, включая низкие и средние частоты (0,3–3 кГц), потребует разработки эффективных в этом диапазоне частот средств снижения акустических помех.

Снижение помех работе бортовых гидроакустических антенн на современных неатомных подводных лодках

Sonar interference mitigation aboard conventional modern subs

На всех неатомных ПЛ, включая как традиционные ДЭПЛ, так и неатомные ПЛ с анаэробными (воздухонезависимыми) энергетическими установками [30–32], устанавливаются бортовые гидроакустические антенны различных типов. Значительно меньшие, чем у АПЛ, скорости хода и отсутствие мощной постоянно работающей атомной установки значительно облегчают решение задачи снижения помех работе ГАК, в т.ч. бортовые антенны, даже с учетом однокорпусной архитектуры зарубежных неатомных ПЛ.

Одним из примеров бортовых антенн ДЭПЛ являются планарные антенны, установленные на спроектированной во Франции [31] в 1990 г. на экспорт однокорпусной ДЭПЛ типа «Скорпене» – первая ДЭПЛ сдана в 2005 г. ВМС Чили [5]. В состав ГАК ДЭПЛ типа «Скорпене» дополнительно к носовой цилиндрической антенне входят две планарные широкоапертурные бортовые антенны. Сравнительно тонкие (около 5 см) антенны выполнены из полимера PVDF и размещены под мало выступающими обтекателями по бортам прочного

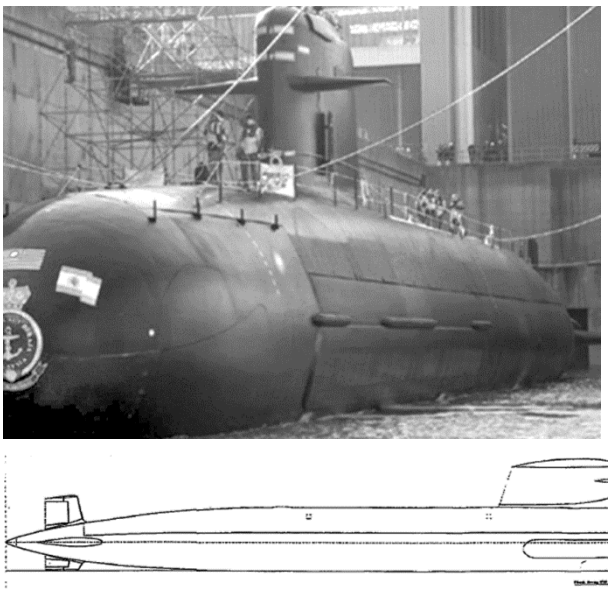

Рис. 9. Дизель-электрическая подводная лодка типа «Скорпене» с планарными бортовыми антеннами

Fig. 9. *Scorpene-class* diesel electric submarine with planar flank sonar arrays

корпуса ниже надстройки напротив малошумного отсека ДЭПЛ (рис. 9).

Кроме того, имеются бортовые антенны системы триангуляции (по три на борт) для целеуказания при торпедной стрельбе, установленные на специальных фундаментах (рис. 10) в нишах надстройки, которая отделена от корпуса узким вырезом для слива воды. Обтекатели всех бортовых антенн ДЭПЛ типа «Скорпене» выполнены с использованием композитных материалов [24, 25], что помимо снижения веса увеличивает их вибродемпфирование, а также снижает шумы обтекания и гидродинамические помехи работе ГАК.

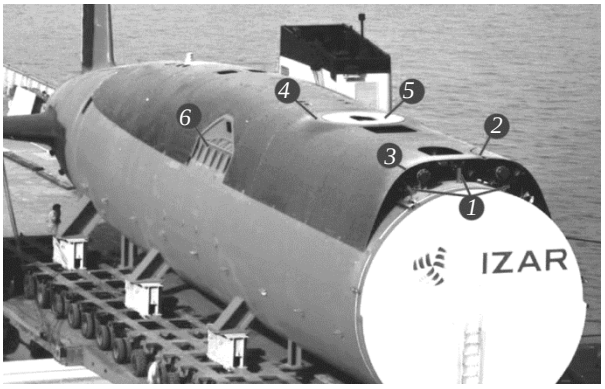

Рис. 10. Фундамент (*6*) для кормовой бортовой антенны триангуляции дизель-электрической подводной лодки «Скорпене»

Fig. 10. Foundation (*6*) of aft flank sonar (triangulation array) of *Scorpene* diesel electric submarine

Аналогичные бортовые антенны триангуляции под композитными обтекателями установлены в надстройке ДЭПЛ Австралии типа «Коллинс» (рис. 11). Каждая антенна из пьезокерамики размещена в вырезе надстройки ДЭПЛ и акустически защищена внутренним и внешним экранами из шумозаглушающего покрытия от внутренних и внешних источников акустических помех.

Бортовые гидроакустические антенны устанавливают не только на ДЭПЛ, но и на новые неатомные подводные лодки с анаэробной установкой, получающей энергию для подзарядки аккумуляторов от электрохимических генераторов, что позволяет втрое увеличить дальность скрытного подводного хода [32]. Первая НАПЛ с такой установкой типа 212А была построена в Германии (головная U 31 вступила в строй в 2003 г.). Работа анаэробной установки с жидким кислородом в криогенных цистернах и интерметаллидным (связанным с металлом) водородом в баллонах обеспечивается минимумом вспомогательного оборудования и создает низкие уровни излучаемого шума и помех работе ГАК. Гребной электродвигатель типа Permasyn, ротор которого имеет постоянные магниты вместо обмоток (что позволило избавиться от щеток и примерно вдвое уменьшить вес и габариты двигателя), создает низкие уровни излучаемого шума и помех работе ГАК [32].

Установленный на НАПЛ 212А ГАК типа CSU 90 (рис. 12) помимо носовой антенны, работающей в диапазоне частот 0,3–12 кГц, включает две линейные бортовые антенны (являющихся отрезками

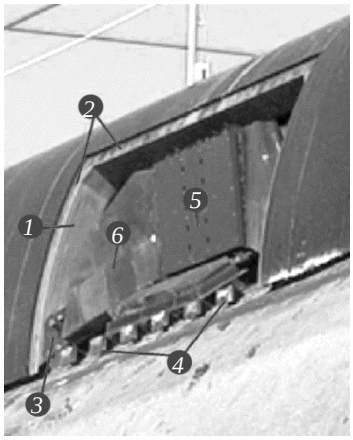

Рис. 11. Конструктивное исполнение бортовой антенны триангуляции дизель-электрической подводной лодки типа «Коллинс» при снятом обтекателе. *1*, *2* – ребра жесткости; *3*, *4* – фундаменты обтекателя; *5* – антенна; *6* – шумозаглушающее покрытие (экран)

Fig. 11. Flank sonar (triangulation array) of *Collins*-class diesel electric submarine (fairing dismounted): *1*, *2* – stiffeners; *3*, *4* – fairing foundations; *5* – array; *6* – noise-damping screen

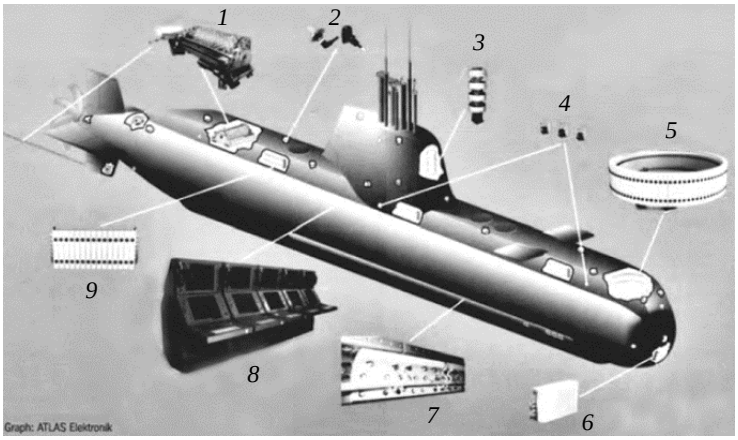

Рис. 12. Основные поисковые датчики гидроакустического комплекса CSU 90 на неатомной подводной лодке типа 212А, включающие буксируемую антенну с лебедкой (*1*), носовую антенну (*5*), антенну миноискания (*6*), линейные бортовые антенны (*7*) и антенны пассивной триангуляции (*9*)

Fig. 12. Main sensors of CSU-90 sonar suite of Type 212A submarine, including towed array winch (*1*), bow sonar (*5*), mine search sonar (*6*), linear flank arrays (*7*) and passive triangulation arrays (*9*)

буксируемой антенны), размещенные под обтекателями в нижней части корпуса. Вместе с буксируемой антенной они охватывают низкочастотный диапазон (10 Гц и выше). Также имеются бортовые, работающие в среднем диапазоне частот 0,3–2,4 кГц, антенны триангуляции, размещенные в надстройке корпуса по три побортно [19, 32]. Кроме того, для постоянного измерения собственной шумности НАПЛ в надстройке установлены два гидрофона системы самоконтроля. Позже в Германии были разработаны экспортные варианты НАПЛ с анаэробными установками – типа 214 и типа «Долфин» (рис. 13), на которых установили такие же бортовые антенны с обтекателями из стеклопластика.

Для модернизированного варианта ГАК типа CSU 90 разработано новое поколение антенн, в которых аналого-цифровое преобразование сигналов осуществляется внутри акустического датчика, с последующей помехоустойчивой передачей в боевую информационную систему. Новые плоские

Fig. 13. Dolphin-class conventional submarine. Composite parts are shown with numbers: *1*, *2* – casing and sail sections; *3* – cladding of intermetallic-hydrogen bottles; *4* – fairing of linear flank array; *5* – fairings of triangulating flank arrays (forward one not shown)

Рис. 13. Неатомная подводная лодка типа «Долфин». Цифрами показаны детали из стеклопластика: *1*, *2* – секции надстройки и ограждения выдвижных устройств; *3* – зашивка баллонов с интерметаллидным водородом; *4* – обтекатель линейной бортовой антенны; *5* – обтекатели бортовых антенн системы триангуляции (носовая не видна)

бортовые антенны длиной по 34 м с увеличенной апертурой включают панели датчиков высотой по 70 см, покрытые пластинами из звукоотражающего и вибропоглощающего резиноподобного материала [8]. Наличие этих слоев позволяет демпфировать вибрации корпусных конструкций в месте установки, кроме того в этих пластинах поверх вибропоглощающих пластин наносится звукоотражающий слой, что также снижает помехи работе бортовых антенн. Усовершенствованный ГАК с новыми бортовыми антеннами устанавливается на модернизированные НАПЛ Германии типа 212В.

С целью повышения возможностей ГАК по определению дистанции до цели разработан усовершенствованный метод адаптивного формирования направленности антенны. Ранее применявшийся метод определения дистанции был основан на измерении разницы во времени прихода сигнала на три бортовые антенны с использованием коррелятора, подтверждающего взаимосвязь сигналов от одного источника излучаемого шума.

В новом методе предложено использовать бортовую антенну с увеличенной апертурой для повышения помехоустойчивости при слабых сигналах. Создание электроникой сфокусированного на нескольких заданных точках острого луча направленности приема такой антенны позволяет путем выбора времени задержки приема сигнала, имеющего максимальную энергию, повысить точность определения дистанции до цели и уточнить ее местонахождение. Этому способствуют учет в разработанном методе двухмерной модели распространения звука в воде, наличие высокой избирательности бортовой антенны увеличенных размеров, а также создание высокоэффективных средств снижения акустических помех работе ГАК в скрытном пассивном режиме.

Заключение

Conclusion

Выполненный обзор информации по зарубежным подводным лодкам позволил определить основные типы и особенности размещения бортовых гидроакустических антенн на современных подводных лодках, включая атомные и неатомные ПЛ, а также выявить конструктивные решения по снижению акустических помех их работе в составе ГАК.

Разработанные зарубежными специалистами конструктивные решения по опорным конструкциям и обтекателям бортовых антенн, а также по средствам звукоизоляции, виброизоляции и звукопоглощения позволяют предположить высокую эффективность снижения акустических помех работе бортовых гидроакустических антенн современных ПЛ в скрытном пассивном режиме.

Список использованной литературы

1. *Friedman N.* Submarine design and development. Annapolis : Naval Institute Press, 1984. 192 p.
2. *Zimmerman S.* Submarine design for the 21st century. Arlington : Pasha Pub., 1993. 182 p.
3. *Zimmerman S.* Submarine technology for the 21st century. 2nd ed. Arlington : Pasha Pub., 1997. 219 p.
4. Многоцелевые АПЛ ВМС Великобритании. Ч. 1–3 : аналитические отчеты. Санкт-Петербург : ЦКБ МТ «Рубин», 2006–2008. Вып. 9–11.
5. *Александров Ю.И., Гусев А.Н.* Боевые корабли мира на рубеже XX–XXI веков : справочник. Ч. 1. Подводные лодки. Санкт-Петербург : Галлея Принт, 2000. 301 с.
6. *Polmar N.* The Naval Institute Guide to the ships and aircraft of the U.S. fleet. 17th ed. Annapolis : Naval Institute Press, 2001. 657 p.
7. Современные и перспективные многоцелевые АПЛ ВМС США : аналитический отчет. Санкт-Петербург : ЦКБ МТ «Рубин», 2003. 62 с.
8. Аналитика. Современное состояние и перспективы развития зарубежного кораблестроения и ВМС (по материалам зарубежных источников) // Дайджест зарубежной прессы. ВМС и кораблестроение. 2009. Спец. вып. № 1: Приложение к вып. № 52. 259 с.
9. *Савенко В.В.* Акустические технологии на многоцелевых атомных подводных лодках // Труды ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. 2010. Вып. 52(336). С. 29–46.
10. *Полмар Н., Мур К.Дж.* Подводные лодки холодной войны : проектирование и строительство американских и советских подводных лодок / [пер. с англ.: *Б.Ф. Дронов*]. Санкт-Петербург : СПМБМ «Малахит», 2011. 469 с.
11. *Савенко В.В.* Совершенствование методов акустического проектирования кораблей // Труды Крыловского государственного научного центра. 2018. Вып. 3(385). С. 131–144. DOI: 10.24937/2542-2324-2018-3-385-131-144.
12. *Корякин Ю.А., Смирнов С.А., Яковлев Г.В.* Корабельная гидроакустическая техника: состояние и актуальные проблемы: гидроакустика на рубеже XX и XXI столетий. Санкт-Петербург : Наука, 2004. 409, [1] с.
13. Использование масштабных моделей при проектировании ПЛ : аналитический отчет. Санкт-Петербург : ЦКБ МТ «Рубин», 2014. Вып. 19. 131 с.
14. *Савенко В.В.* Использование крупномасштабных моделей при разработке новых технологий для подвод-

ных лодок и кораблей ВМС США // Труды Крыловского государственного научного центра. 2014. Вып. 80(364). С. 143–148.

15. *Кирпичников В.Ю., Ляпунов Д.В., Савенко В.В.* Уменьшение шумоизлучения судовых конструкций с использованием антивибраторов // Труды ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. 2008. Вып. 40(324). С. 65–76.
16. *Кирпичников В.Ю., Кощеев А.П., Савенко В.В.* Экспериментальное исследование вибраций и звукоизлучения оболочки с распределенной по участку ее поверхности массой // Труды Крыловского государственного научного центра. 2014. Вып. 80(364). С. 53–64.
17. *Ионов А.В., Майоров В.С.* Гидролокационные характеристики подводных объектов. Санкт-Петербург : ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2011. 325 с.
18. Использование подводных лодок ВМС США и Великобритании подо льдом : аналитический отчет. Санкт-Петербург : ЦКБ МТ «Рубин», 2006. Вып. 6. 242 с.
19. Дайджест зарубежной прессы. ВМС и кораблестроение. 2017. Вып. 80: спец. вып. 3. 332 с.
20. *Ильин В.П.* «Вирджиния». Первые серийные атомоходы XXI века // Арсенал. Военно-промышленное обозрение. 2008. Вып. 4. С. 176–184.
21. *Polmar N.* The Naval institute guide to the ships and aircraft of the U.S. fleet. 19th ed. Annapolis, Maryland, 2013. 650 p.
22. *Савенко В.В.* Снижение шумности атомных подводных лодок Великобритании // Труды ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. 2011. Вып. 61(345). С. 125–140.
23. *Савенко В.В.* Размещение гидроакустических антенн на многоцелевых АПЛ ВМС США и Великобритании // Труды Крыловского государственного научного центра. 2014. Вып. 80(364). С. 137–142.
24. *Федонюк Н.Н.* Применение полимерных композиционных материалов в зарубежном кораблестроении : обзор по материалам прессы, 1990–2006 гг. Санкт-Петербург : ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2009. 114 с.
25. Использование композитных конструкционных материалов при создании ПЛ : аналитический отчет. Санкт-Петербург : ЦКБ МТ «Рубин», 2014. Вып. 18. 212 с.
26. Атомная подводная лодка многоцелевого назначения ВМС Франции // Дайджест зарубежной прессы. ВМС и кораблестроение. 2021. Вып. 99. С. 20–22.
27. *Савенко В.В., Чижов В.Ю.* Акустическое проектирование атомных подводных лодок Франции // Труды Крыловского государственного научного центра. 2024. Вып. 2(408). С. 136–150.
28. Проработка перспективного подводного ракетоносца ВМС Франции // Дайджест зарубежной прессы. ВМС и кораблестроение. 2021. Вып. 98. С. 27–28.
29. Подводные ракетоносцы нового поколения с повышенной скрытностью // Дайджест зарубежной прессы. ВМС и кораблестроение. 2023. Вып. 105. С. 87–89.
30. *Савенко В.В., Шлемов Ю.Ф.* Малошумные дизель-электрические подводные лодки // Труды ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. 2011. Вып. 61(345). С. 141–154.
31. Акустическое проектирование подводных лодок типа Scorpene // Дайджест зарубежной прессы. ВМС и кораблестроение. 2004. Вып. 36. С. 97–101.
32. *Савенко В.В.* Акустические технологии на неатомных подводных лодках с анаэробными установками // Труды ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. 2011. Вып. 61(345). С. 155–164.

References

1. *Friedman N.* Submarine design and development. Annapolis : Naval Institute Press, 1984. 192 p.
2. *Zimmerman S.* Submarine design for the 21st century. Arlington : Pasha Pub., 1993. 182 p.
3. *Zimmerman S.* Submarine technology for the 21st century. 2nd ed. Arlington : Pasha Pub., 1997. 219 p.
4. Fast-attack nuclear submarines of Great Britain. Part 1–3. Analytical Reports. St. Petersburg : CDB MT Rubin, 2006–2008. Vol. 9–11 (*in Russian*).
5. *Aleksandrov Yu.I., Gusev A.N.* Naval ships of the world at the turn of 20th–21st centuries. Reference book. Part 1. St. Petersburg : Galleya Print, 2000. 301 p. (*in Russian*).
6. *Polmar N.* The Naval Institute Guide to the ships and aircraft of the U.S. fleet. 17th ed. Annapolis : Naval Institute Press, 2001. 657 p.
7. Modern and future attack submarines of US Navy. Analytical Report. St. Petersburg : CDB MT Rubin, 2003. 62 p. (*in Russian*).
8. Analytics. State of the art and prospects of foreign shipbuilding and navies (as per international press data) // Navy and Defence Technology News. 2009. Special Issue No. 1. Appendix to Issue No. 52. 259 p. (*in Russian*).
9. *Savenko V.V.* Acoustic technologies on nuclear-powered attack submarines // Transactions of the Krylov Central Research Institute. 2010. Vol. 52(336). P. 29–46 (*in Russian*).
10. *Polmar N., Moore K.J.* Cold War submarines : the design and construction of U.S. and Soviet submarines (*Russian translation*). St. Petersburg : Malakhite Design Bureau, 2011. 469 p.
11. *Savenko V.V.* Refinement of acoustic design methods for ships // Transactions of the Krylov State Research Centre. 2018. Vol. 3(385). P. 131–144. DOI: 10.24937/2542-2324-2018-3-385-131-144 (*in Russian*).
12. *Koryakin Yu.A., Smirnov S.A., Yakovlev G.V.* Naval sonars: state of the art and current challenges. Hydroacoustics at the turn of 20th and 21st centuries. St. Petersburg : Nauka, 2004. 409 [1] p. (*in Russian*).

13. Application of scaled models in submarine design. Analytical Report. St. Petersburg : CDB ME Rubin, 2014. Vol. 19. 131 p. (*in Russian*).
14. *Savenko V.V.* Large-scale models in development of new technologies for USN ships and submarines // Transactions of the Krylov State Research Centre. 2014. Vol. 80(364). P. 143–148 (*in Russian*).
15. *Kirpichnikov V.Yu., Lyapunov D.V., Savenko V.V.* Noise radiation reduction for ship structures by means of vibration dampers // Transactions of the Krylov Central Research Institute. 2008. Vol. 40(324). P. 65–76 (*in Russian*).
16. *Kirpichnikov V.Yu., Koscheev A.P., Savenko V.V.* Experimental study of vibrations and acoustic emission of shell with the mass distributed throughout an area on its surface // Transactions of the Krylov State Research Centre. 2014. Vol. 80(364). P. 53–64 (*in Russian*).
17. *Ionov A.V., Maiorov V.S.* Sonar signatures of underwater objects. St. Petersburg : Krylov Central Research Institute, 2011. 325 p. (*in Russian*).
18. Operations of USN and RN submarines under ice. Analytical Report. St. Petersburg : CDB ME Rubin, 2006. Vol. 6. 242 p. (*in Russian*).
19. Navy and Defence Technology News. 2017. Vol. 80, Special Issue 3. 332 p. (*in Russian*).
20. *Ilyin V.P.* Virginia-class SSNs: first batch-produced nuclear submarines of the 21st century // Arsenal. Voennopromyshlennoe obozrenie (Arsenal. Military Industry Review). 2008. Vol. 4. P. 176–184 (*in Russian*).
21. *Polmar N.* The Naval institute guide to the ships and aircraft of the U.S. fleet. 19th ed. Annapolis, Maryland, 2013. 650 p.
22. *Savenko V.V.* Noise mitigation for nuclear submarines of the Royal Navy // Transactions of the Krylov Central Research Institute. 2011. Vol. 61(345). P. 125–140 (*in Russian*).
23. *Savenko V.V.* Layout of sonar arrays on fast-attack SSNs of US and UK navies // Transactions of the Krylov State Research Centre. 2014. Vol. 80(364). P. 137–142 (*in Russian*).
24. *Fedonyuk N.N.* Application of polymeric composite materials in foreign shipbuilding. Press review. 1990–2006. St. Petersburg : Krylov Central Research Institute, 2009. 114 p. (*in Russian*).
25. Application of composite structural materials in development of submarines. Analytical Report of CDB ME Rubin. St. Petersburg : CDB ME Rubin, 2014. Vol. 18. 212 p. (*in Russian*).
26. Nuclear-powered attack submarine of the French Navy // Navy and Shipbuilding Nowadays. Digest of foreign press. 2021. Vol. 99. P. 20–22 (*in Russian*).
27. *Savenko V.V., Chizhov V.Yu.* Acoustic design of nuclear submarines in France // Transactions of the Krylov State Research Centre. 2024. Vol. 2(408). P. 136–150 (*in Russian*).
28. Research design of future ballistic-missile submarine of the French Navy // Navy and Shipbuilding Nowadays. Digest of foreign press. 2021. Vol. 98. P. 27–28 (*in Russian*).
29. New-generation ballistic-missile submarines with enhanced stealth performance // Navy and Shipbuilding Nowadays. Digest of foreign press. 2023. Vol. 105. P. 87–89 (*in Russian*).
30. *Savenko V.V., Shlemov Yu.F.* Silent diesel-electric submarines // Transactions of the Krylov Central Research Institute. 2011. Vol. 61(345). P. 141–154 (*in Russian*).
31. Acoustic design of *Scorpene*-class submarines // Navy and Shipbuilding Nowadays. Digest of foreign press. 2004. Vol. 36. P. 97–101 (*in Russian*).
32. *Savenko V.V.* Acoustic technologies on conventional submarines with AIP propulsion // Transactions of the Krylov Central Research Institute. 2011. Vol. 61(345). P. 155–164 (*in Russian*).

Сведения об авторах

Виноградов Андрей Владимирович, начальник лаборатории ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. Тел. +7 (812) 748-63-49. E-mail: an_vinogradov@ksrc.ru.

Савенко Валентин Викторович, к.т.н., ведущий научный сотрудник ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. Тел. +7 (812) 415-49-85. E-mail: ta.mah@yandex.ru.

Таровик Владимир Иванович, к.т.н., заместитель начальника лаборатории – начальник сектора ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. Тел.: +7 (812) 415-46-81. E-mail: v_tarovik@ksrc.ru. https://orcid.org/0000-0002-4001-8016.

About the authors

Andrey V. Vinogradov, Head of Laboratory, Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoye sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: +7 (812) 748-63-49. E-mail: an_vinogradov@ksrc.ru.

Valentin V. Savenko, Cand. Sci. (Eng.), Lead Researcher, Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoye sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: +7 (812) 415-49-85. E-mail: ta.mah@yandex.ru.

Vladimir I. Tarovik, Cand. Sci. (Eng.), Head of Sector – Deputy Head of Laboratory, Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoe sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: +7 (812) 415-46-81. E-mail: v_tarovik@ksrc.ru. https://orcid.org/0000-0002-4001-8016.

Поступила / Received: 12.03.26
Принята в печать / Accepted: 06.05.26
© Виноградов А.В., Савенко В.В., Таровик В.И., 2026