

УДК 623.827(73)  
EDN: IYYWXX

В.В. Савенко, С.В. Попков  
ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург, Россия

## КОМПОНОВКА ВИБРОАКТИВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА МНОГОЦЕЛЕВЫХ АТОМНЫХ ПОДВОДНЫХ ЛОДКАХ ВОЕННО-МОРСКИХ СИЛ США ТИПА «ВИРДЖИНИЯ»

**Объект и цель научной работы.** Рассмотрены основные особенности компоновки виброактивного оборудования в отсеках строящихся серийно многоцелевых атомных подводных лодок (АПЛ) ВМС США типа «Вирджиния».

**Материалы и методы.** Анализ доступных материалов по особенностям компоновки виброактивного оборудования атомных подводных лодок типа «Вирджиния», позволившей эффективно снизить его вклад в шумность АПЛ.

**Основные результаты.** Подтверждено применение компьютерных методов при компоновке виброактивного оборудования, а также при акустическом совершенствовании фундаментных конструкций оборудования.

**Заключение.** Установлено, что численное моделирование с использованием метода конечных элементов позволило минимизировать влияние резонансов фундаментных конструкций оборудования и обеспечить высокую эффективность средств снижения вибрации и шума, что способствовало достижению низких уровней излучаемого АПЛ шума, особенно на малых скоростях хода.

**Ключевые слова:** акустические характеристики, компоновка виброактивного оборудования, АПЛ типа «Вирджиния».

*Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.*

UDC 623.827(73)  
EDN: IYYWXX

V.V. Savenko, S.V. Popkov  
Krylov State Research Centre, St. Petersburg, Russia

## COMPONENTS OF VIBROACTIVE EQUIPMENT ABOARD VIRGINIA-CLASS SSNS (US NAVY)

**Object and purpose of research.** This paper discusses main peculiarities of vibroactive equipment components in the compartments of Virginia-class SSNs under construction.

**Materials and methods.** The paper analyses available publications on peculiarities of vibroactive equipment components aboard Virginia-class SSNs that effectively reduced their contribution to overall noise signature of these submarines.

**Main results.** It was confirmed that computer-based simulation can be used to configure vibroactive equipment, as well as to improve acoustic performance of equipment foundations.

**Conclusion.** It has been established that FEM-based simulation effectively minimized the effect of equipment foundation resonances, ensuring high efficiency of noise and vibration damping tools, which resulted in low noise radiation of Virginia-class SSNs, especially at low speeds.

**Keywords:** acoustic performance, vibroactive equipment components, Virginia-class SSNs.

*The authors declare no conflicts of interest.*

*Для цитирования:* Савенко В.В., Попков С.В. Компоновка виброактивного оборудования на многоцелевых атомных подводных лодках военно-морских сил США типа «Вирджиния». Труды Крыловского государственного научного центра. 2024; 3(409): 138–144.

*For citations:* Savenko V.V., Popkov S.V. Components of vibroactive equipment aboard Virginia-class SSNs (US Navy). Transactions of the Krylov State Research Centre. 2024; 3(409): 138–144 (in Russian).

## Введение

### Introduction

В США развернуто серийное строительство новейших многоцелевых атомных подводных лодок типа «Вирджиния». Головная АПЛ Virginia SSN 774 вошла в состав флота в октябре 2004 г., а в августе 2023 г. заложена четвертая в подсерии Block V многоцелевая АПЛ Tang SSN 805 [1]. По мере строительства отдельных подсерий не только совершенствуется вооружение и другие боевые средства, но и продолжаются работы по дальнейшему снижению шумности АПЛ.

При проектировании АПЛ типа «Вирджиния» применены расчетные (в т.ч. конечно-элементные) методы определения ее вибрационных и акустических характеристик, включающие моделирование компоновки и размещения виброактивного оборудования в отсеках. Это позволило уточнить особенности формирования виброакустических характеристик при работе оборудования, оценить в процессе проектирования ожидаемую эффективность средств акустической защиты и оптимизировать принятые в проекте новые технические решения.

Важными моментами акустического проектирования [2] АПЛ типа «Вирджиния» являлись рациональная компоновка и размещение виброактивного оборудования в отсеках, направленные на достижение минимальной шумности АПЛ. Как известно [3], шумность современных АПЛ на малых скоростях хода определяется работой главного и вспомогательного виброактивного оборудования. При выборе акустических средств вибро- или шумоизоляции и поглощения большое значение имеет рациональная компоновка виброактивного и шумящего оборудования, направленная на уменьшение колебаний механизмов и конструкций [4].

В настоящей работе рассмотрены основные особенности компоновки виброактивного обо-

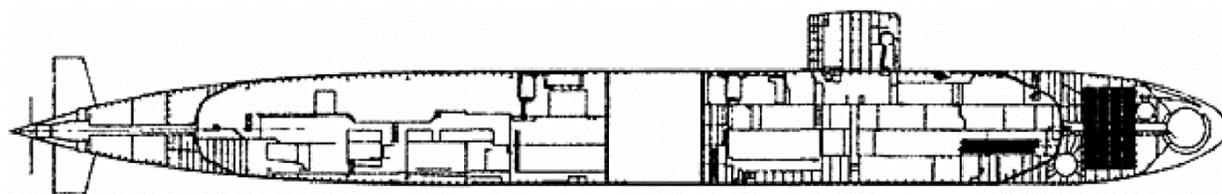
дования в отсеках малошумных многоцелевых АПЛ типа «Вирджиния», а также конструктивного исполнения фундаментов оборудования, которые выявлены в результате анализа доступных материалов, опубликованных в многочисленных выпусках «Дайджеста» [1] и других источниках, например [5–7].

## Основные особенности общей компоновки атомных подводных лодок типа «Вирджиния»

### General arrangement of Virginia-class SSNs – Main peculiarities

Архитектурно-компоновочная схема современных многоцелевых АПЛ ВМС США сложилась в 1970-х гг. при создании АПЛ типа «Лос-Анджелес» (головная SSN 688 Los Angeles вступила в строй в 1976 г.). Подводное водоизмещение АПЛ составляло от 6927 т у головной АПЛ до 7177 т у последней (типа «Лос-Анджелес усовершенствованная» SSN 773), длина АПЛ – 109,7 м, диаметр корпуса – 10,1 м. Эти однокорпусные АПЛ отличались предельно простой архитектурно-компоновочной схемой и имели только две водонепроницаемые переборки прочного корпуса, выделяющие средний отсек с атомным реактором (рис. 1).

Цистерны главного балласта располагались в носовой и кормовой оконечностях, полностью исключена свободно заполняемая водой надстройка, запас плавучести снижен примерно до 15 %. Главное энергетическое оборудование (ГТЗА, АТГ) и большая часть вспомогательного оборудования размещены в одном кормовом отсеке больших размеров. Снижение числа переборок и увеличение размеров отсеков позволило не только снизить вес корпуса, но и оптимизировать компоновку совместно работающего виброактивного и шумящего оборудования, обеспечить повышение эффективности средств виброизоляции



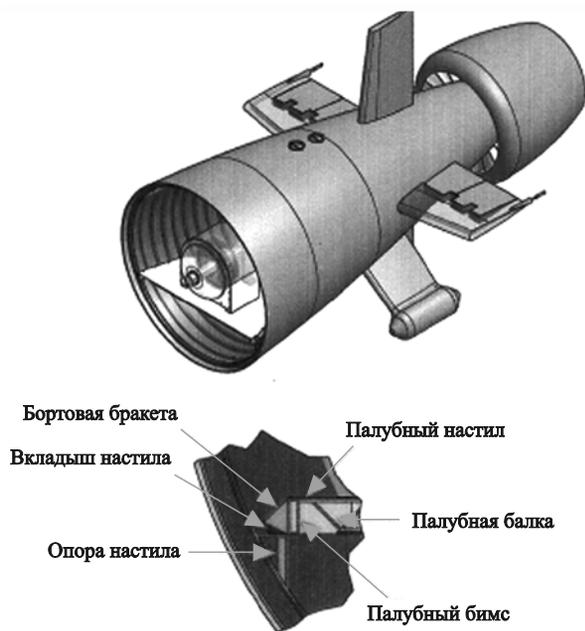
**Рис. 1.** Атомная подводная лодка «Тоledo» (Toledo SSN 769) – типа «Лос-Анджелес усовершенствованная» (Los Angeles Improved SSN 688I)

**Fig. 1.** Los-Angeles-class (688I) SSN-769 (Toledo)

и шумопоглощения, а также убрать переборочные узлы виброразвязки неопорных связей (трубопроводов и т.д.), соединяющих оборудование в разных отсеках.

Одной из проблем АПЛ типа «Лос-Анджелес» стала повышенная вибрация опорной рамы главного оборудования (имевшей большие размеры), особенно на собственных (резонансных) частотах рамы при их совпадении с частотами динамических усилий, действующих со стороны виброактивного оборудования. Это привело к наличию в спектре шумоизлучения АПЛ дискретных составляющих, связанных с работой ряда главных и вспомогательных механизмов.

Аналогичная общая компоновка с тремя отсеками была сохранена и в двух построенных в США самых дорогих многоцелевых «АПЛ XXI века» типа «Сивулф» (головная SSN 21 Seavolf вступила в строй в 1997 г.). Эти более скоростные (35–38 уз вместо 30–32 уз) АПЛ отличались от АПЛ типа «Лос-Анджелес» увеличенным подводным водоизмещением (9138 т) и возросшим (до 12,2 м) диамет-



**Рис. 5.** кормовой участок корпуса с виброизолированной платформой, на которой размещены редуктор и упорный подшипник атомной подводной лодки типа Virginia

**Fig. 5.** Aft part of Virginia-class SSN hull with vibroisolated platform accommodating gearbox and thrust bearing

ром корпуса при близкой длине (107,6 м). Совершенствование оборудования, средств акустической защиты и применение нового движителя водометного типа позволили существенно снизить шумность этих АПЛ в значительно расширенном диапазоне поисковых скоростей хода.

Длина строящихся серийных (спроектированных как более дешевые) многоцелевых АПЛ типа «Вирджиния» [5] увеличилась до 114,9 м, а диаметр наружного прочного корпуса составил 10,36 м, что привело к увеличению удлинения до 11,1. Это позволило ограничить осадку величиной 9,76 м в обеспечении действий в прибрежных районах, что является одной из главных задач новой АПЛ. Надводное водоизмещение «Вирджинии» 6,97 тыс. т, подводное – 7,84 тыс. т; в 5 цистерн главного балласта, расположенных в носовой и кормовой оконечностях, принимается около 900 т морской воды.

Архитектура корпуса, близкая к АПЛ предыдущих типов, сохранена, но количество переборок увеличено до четырех. Как обычно, реакторный отсек занимает центральное положение на АПЛ, главное энергетическое оборудование размещено в одном кормовом отсеке больших размеров, часть вспомогательного оборудования – во втором отсеке, расположенном в нос от реакторного отсека. Функциональные и супермодули АПЛ типа «Вирджиния», производимые на верфях-строителях, показаны на рис. 2 (см. вклейку).

На рис. 3 (см. вклейку) показана схема общего расположения АПЛ типа Virginia. Более крупно размещение главного энергетического оборудования показано на рис. 4 (см. вклейку). Расположенный в третьем отсеке вместе с парогенератором ядерный реактор (SG9) отделен от соседних отсеков переборками с биологической защитой, в отсеке по правому борту на второй палубе имеется переходной коридор. В большом кормовом отсеке установлено главное оборудование, включая турбогенераторы, главные турбины и редуктор, а также другое оборудование.

Кормовой участок корпуса с виброизолированной платформой, на которой размещены редуктор и упорный подшипник АПЛ типа Virginia, показан на рис. 5. Видно, что виброизолированная платформа установлена на продольные бортовые фундаменты, показанная схема конструкции которых содержит флоры, бракеты и балки. Неоднократно отмечалось, что применение виброизолированных платформ стало одним из новых технических решений для снижения шумности АПЛ типа Virginia.

## Особенности компоновки и размещения виброактивного оборудования в отсеках атомной подводной лодки типа «Вирджиния»

Peculiarities of vibroactive equipment components and arrangement in *Virginia*-class SSN compartments

Общее расположение отсеков и размещение оборудования в отсеках АПЛ прорабатывались с использованием метода конечных элементов и других возможностей компьютерного моделирования.

На рис. 6 (см. вклейку) показано компьютерное изображение общего размещения постов центрального пункта управления и носовой выгородки, расположенных на второй палубе первого отсека. Замена проникающих в корпус перископов телескопическими мачтами с оптронными датчиками позволила связать их стекловолоконными кабелями с центральным постом, а помещения центрального пункта управления разместить на более просторной второй палубе.

Видно также, что между первым и вторым отсеками размещена двойная переборка, в верхней части которой выполнена док-камера с выходным люком, предназначенная для выпуска и приема в подводном положении 9 бойцов сил специального назначения.

Смоделированное размещение жилых помещений и вспомогательного оборудования на второй палубе второго отсека АПЛ типа *Virginia* показано на рис. 7.

Фото (рис. 8) расположенной на этой палубе носовой вентиляционной выгородки одной из строящейся АПЛ (SSN-777) показывает, что выгородка выполнена в виде жесткой клетки длиной около 5,5 м, которая вписана в верхнюю четверть поперечного сечения корпуса АПЛ.

Клетка служит для крепления в ее ячейках звукоизолирующих матов, позволяющих уменьшить передачу воздушного шума от вентиляционного оборудования в прилегающие помещения отсека, а также на корпус АПЛ и далее в окружающую водную среду. Размеры ячеек отличаются как вдоль оси ПЛ (ориентировочно 30, 24, 22, 16, 26, 28, 24, 20, 32), так и по дуге окружности (10, 14, 20, 18, 24, 20, 22). Изменение размеров ячеек позволяет избежать нежелательных связанных резонансных явлений в элементах вентиляционной выгородки, которые могут уменьшить шумозаглушающую эффективность разработанной конструкции.

Компьютерное изображение размещения вспомогательного оборудования на третьей палубе второго отсека показано на рис. 9 (см. вклейку). Вдоль оси корпуса ближе к кормовой части расположен вспомогательный (аварийный) дизель-генератор.

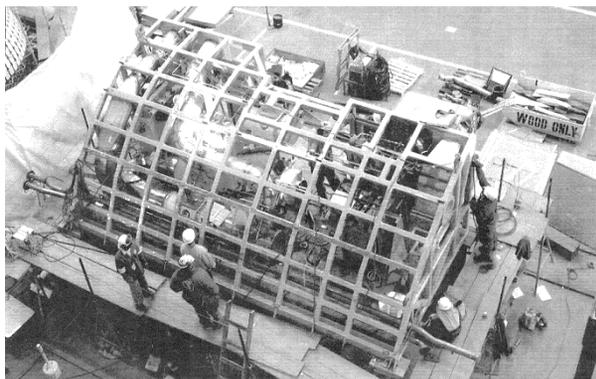
На фото (рис. 10, см. вклейку) показана секция изолированной палубной конструкции (объемной опорной рамы оборудования) третьей палубы второго отсека. В центре видна фундаментная конструкция дизель-генератора, компьютерное изображение которой показано синим цветом на рис. 11 (см. вклейку).

Вид снизу секции изолированной палубной конструкции (объемной опорной рамы) оборудования третьей палубы второго отсека показан на



**Рис. 7.** Компьютерная компоновка жилых помещений и вспомогательного оборудования на второй палубе второго отсека

**Fig. 7.** Computer-based image – Arrangement of living quarters and auxiliary equipment at Deck 2 of Compartment 2



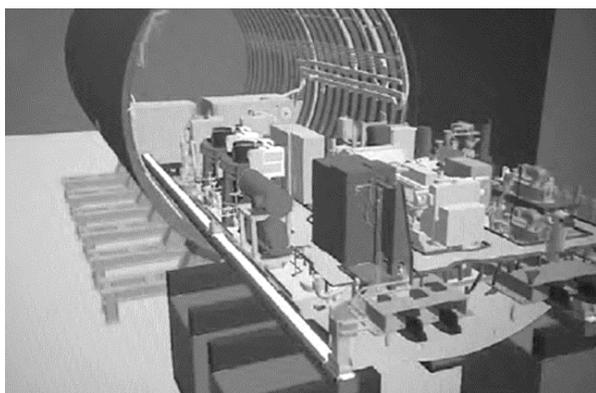
**Рис. 8.** Выгородка вентиляции строящейся атомной подводной лодки типа Virginia SSN-777

**Fig. 8.** Ventilation enclosure of Virginia-class SSN-777 under construction



**Рис. 12.** Секция изолированной палубной конструкции (вид снизу)

**Fig. 12.** Part of isolated deck structure (bottom view)



**Рис. 13.** Компьютерное изображение процесса закатывания во второй отсек секции изолированной палубной конструкции с оборудованием

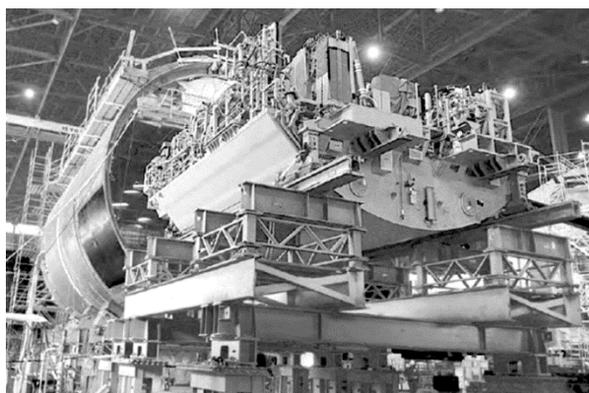
**Fig. 13.** Computer-based image – Part of isolated deck structure with equipment rolled into Compartment 2

рис. 12. Можно предположить, что объем (сегмент) в нижней части используется в качестве топливных или других цистерн, масса жидкости в которых повышает входное механическое сопротивление фундаментов и поглощает часть колебательной энергии.

Компьютерное изображение процесса закатывания во второй отсек секции изолированной палубной конструкции с оборудованием показано на рис. 13. Фото процесса закатывания во второй отсек секции изолированной палубной конструкции с оборудованием приведено на рис. 14.

Анализ приведенных компьютерных изображений размещения и компоновки оборудования в сравнении с фотографиями реальных конструкций позволяет подтвердить информацию о широком применении компьютерных методов проектирования АПЛ типа Virginia в обеспечение достижения низких уровней шума, излучаемого при работе оборудования. Применение численного моделирования, в т.ч. с использованием метода конечных элементов, позволило не только осуществить оптимальную компоновку оборудования в плане минимизации шумности, но также снизить нежелательное влияние резонансов в опорных и фундаментных конструкциях и обеспечить максимальную эффективность средств снижения вибрации и шума.

В результате созданы наименее шумные в настоящее время [5–8] универсальные многоцелевые АПЛ, способные выполнять широкий круг задач, в т.ч. в прибрежных водах (рис. 15). Реактор



**Рис. 14.** Функционально-технологический модуль (секция изолированной палубной конструкции с оборудованием) третьей палубы второго отсека закатывается в отсек

**Fig. 14.** Functional & technological module (part of isolated deck structure with equipment) at Deck 3 of Compartment 2 rolled into the compartment

S9G (29,4 МВт) с естественной циркуляцией теплоносителя позволяет при минимальной шумности развивать мощность пропульсивной установки «на валу» до 25 тыс. л.с., что обеспечивает максимальную скорость хода более 25 уз.

Именно акустическая скрытность ставилась в ряд первоочередных задач в процессе проектирования АПЛ Virginia, которая имеет сравнительно небольшую максимальную скорость – около 28 уз [8], зато отличается малошумностью как на малых, так и на повышенных скоростях хода. Отличительной особенностью новых многоцелевых АПЛ США типа Virginia является способность обнаружить цель на достаточно больших расстояниях при повышенных поисковых скоростях хода (более 20 уз).

## Заключение

### Conclusion

Выполненный анализ особенностей компоновки и размещения виброактивного оборудования в отсеках строящихся серийно малошумных многоцелевых АПЛ США типа «Вирджиния» показал широкое применение компьютерных методов при проектировании АПЛ и компоновке ее виброактивного оборудования, а также при совершенствовании опорных и фундаментных конструкций.

Применение численного моделирования с использованием метода конечных элементов позволило минимизировать влияние нежелательных резонансов в опорных и фундаментных конструкциях оборудования и обеспечить максимальную эффективность средств снижения вибрации и шума. Это обеспечило весьма низкие уровни излучаемого шума и помех работе гидроакустического комплекса, особенно на малых скоростях хода.

## Список использованной литературы

1. Подводные лодки // Дайджест зарубежной прессы. ВМС и кораблестроение. 2023. Вып. 106. С. 14–25.
2. 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.
3. Савенко В.В. Акустические технологии на многоцелевых атомных подводных лодках // Труды ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. 2010. Вып. 52(336). С. 29–46.
4. Попков В.И., Попков С.В. Колебания механизмов и конструкций. Санкт-Петербург: Сударыня, 2009. 490 с.



**Рис. 15.** Атомная подводная лодка SSN784 North Dakota типа Virginia в море

**Fig. 15.** Virginia-class SSN-784 North Dakota at sea

5. Polmar N., Burgess R. The Naval Institute Guide to the Ships and Aircraft of the U.S. Fleet. 19<sup>th</sup> ed. Annapolis: Naval Institute press, 2013. X, 676 p.
6. Polmar N., Moore K.J. Cold War submarines: the design and construction of U.S. and Soviet submarines. Washington: Brassey's, 2004. XXIII, 407 p.
7. Jane's Fighting Ships, 2013–2014 / Ed. S. Saunders. London: IHS Global Limited, 2013. 1030 p.
8. Ильин В. «Вирджиния». Первые серийные атомоходы XXI века // Арсенал. Военно-промышленное обозрение. 2008. № 4. С. 176–184.

## References

1. Submarines // Navy and Shipbuilding Nowadays. Digest of foreign press. 2023. Vol. 106. P. 14–25 (in Russian).
2. Savenko V.V. Refinement of acoustic design methods for ships // Transactions of Krylov State Research Centre, 2018. Vol. 3(385). P. 131–144. DOI: 10.24937/2542-2324-2018-3-385-131-144 (in Russian).
3. Savenko V.V. Acoustic technologies on nuclear-powered attack submarines // Transactions of Krylov Central Research Institute, 2010. Vol. 52(336). P. 29–46 (in Russian).
4. Popkov V.I., Popkov S.V. Vibrations of machinery and structures. St. Petersburg: Sudarynya, 2009. 490 p. (in Russian).
5. Polmar N., Burgess R. The Naval Institute Guide to the Ships and Aircraft of the U.S. Fleet. 19<sup>th</sup> ed. Annapolis: Naval Institute press, 2013. X, 676 p.
6. Polmar N., Moore K.J. Cold War submarines: the design and construction of U.S. and Soviet submarines. Washington: Brassey's, 2004. XXIII, 407 p.
7. Jane's Fighting Ships, 2013–2014 / Ed. S. Saunders. London: IHS Global Limited, 2013. 1030 p.
8. Ilyin V. Virginia-class SSNs: first serially constructed nuclear submarines of the 21<sup>st</sup> century // Arsenal. Voenno-promyshlennoe obozrenie (Arsenal. Military Industry Review). 2008. No. 4. P. 176–184 (in Russian).

### **Сведения об авторах**

*Савенко Валентин Викторович*, к.т.н., ведущий научный сотрудник, заместитель начальника лаборатории 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.

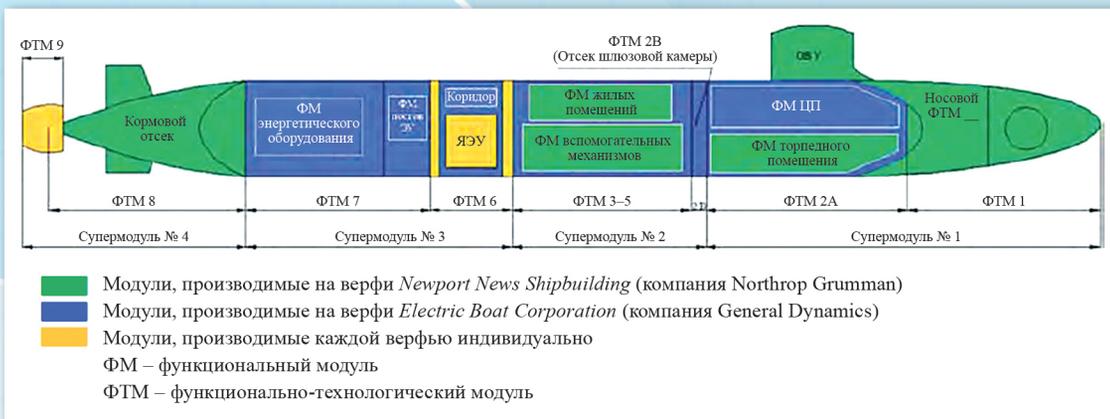
*Попков Сергей Владимирович*, д.т.н., старший научный сотрудник, заслуженный конструктор РФ, заместитель начальника отделения – начальник лаборатории ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Адрес: 196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44. Тел.: +7 (812) 415-45-72. E-mail: popkov.sv@gmail.com.

### **About the authors**

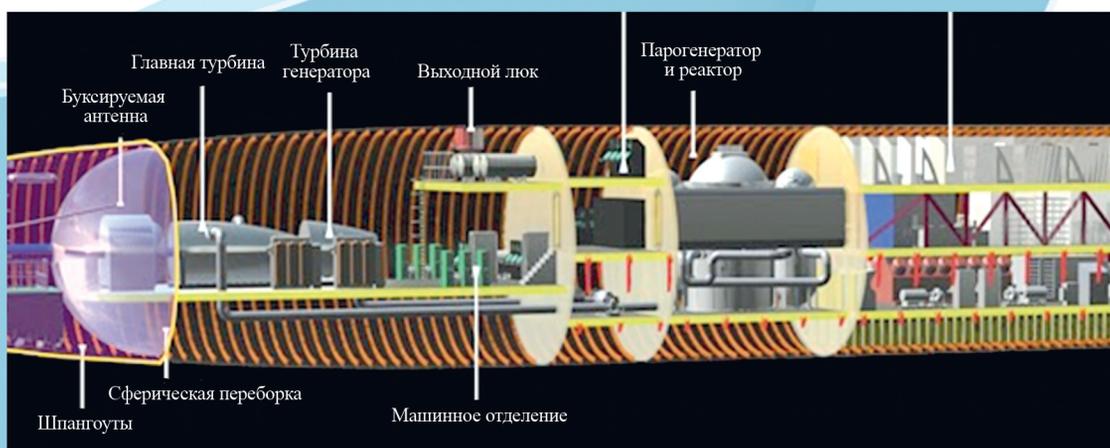
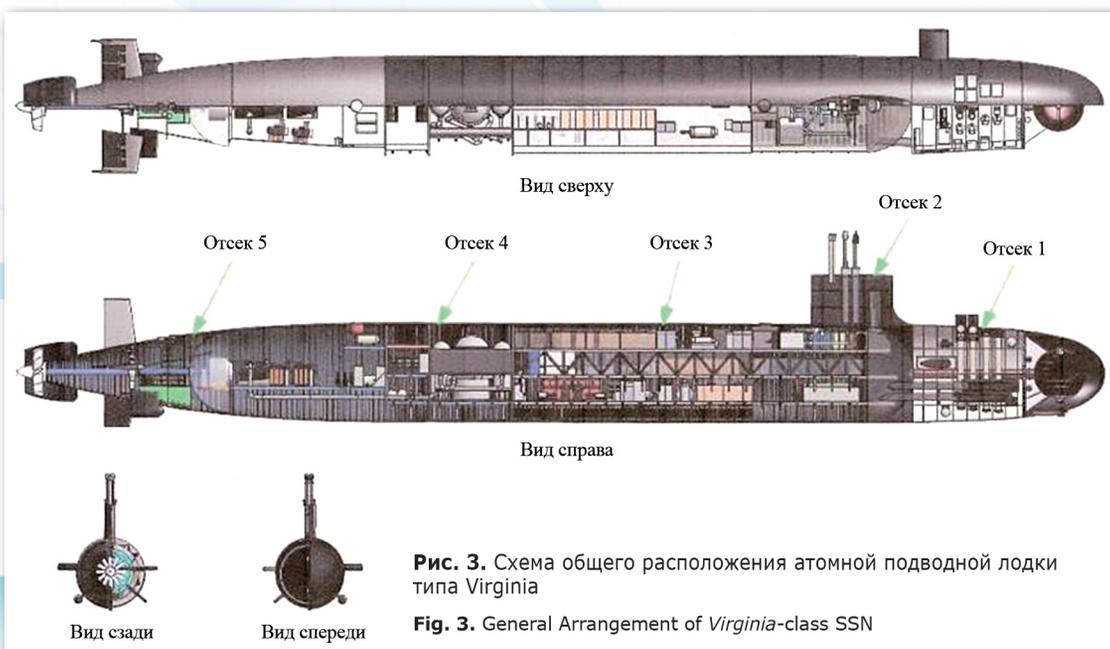
*Valentin V. Savenko*, Cand. Sci. (Eng.), Lead Researcher, Deputy Head of Laboratory, Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoye sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: +7 (812) 415-49-85. E-mail: ta.mah@yandex.ru.

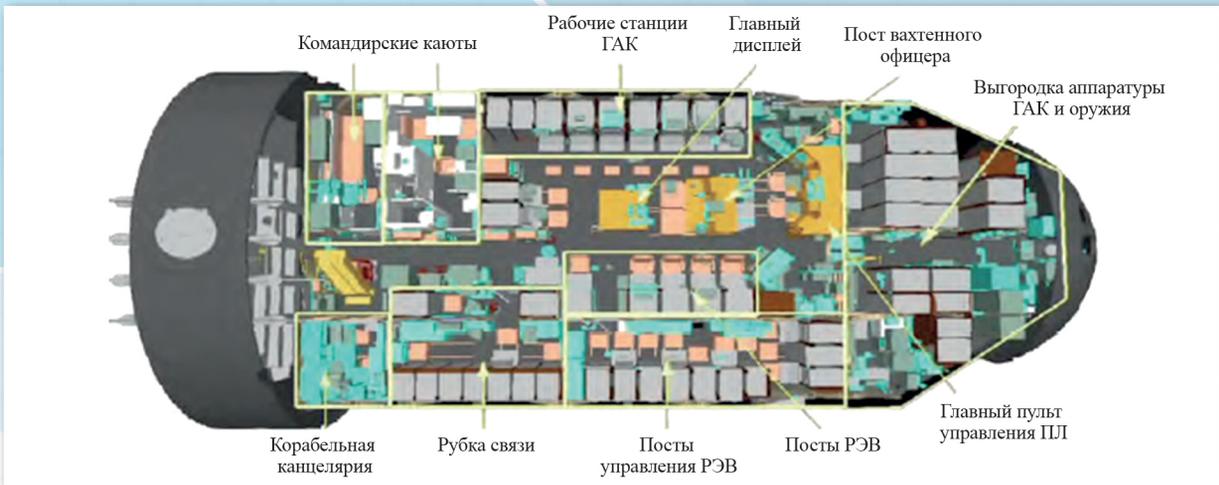
*Sergey V. Popkov*, Dr. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Honoured Designer of the Russian Federation, Deputy Head of Division – Head of Laboratory, Krylov State Research Centre. Address: 44, Moskovskoye sh., St. Petersburg, Russia, post code 196158. Tel.: +7 (812) 415-45-72. E-mail: popkov.sv@gmail.com.

Поступила / Received: 25.04.24  
Принята в печать / Accepted: 27.08.24  
© Савенко В.В., Попков С.В., 2024



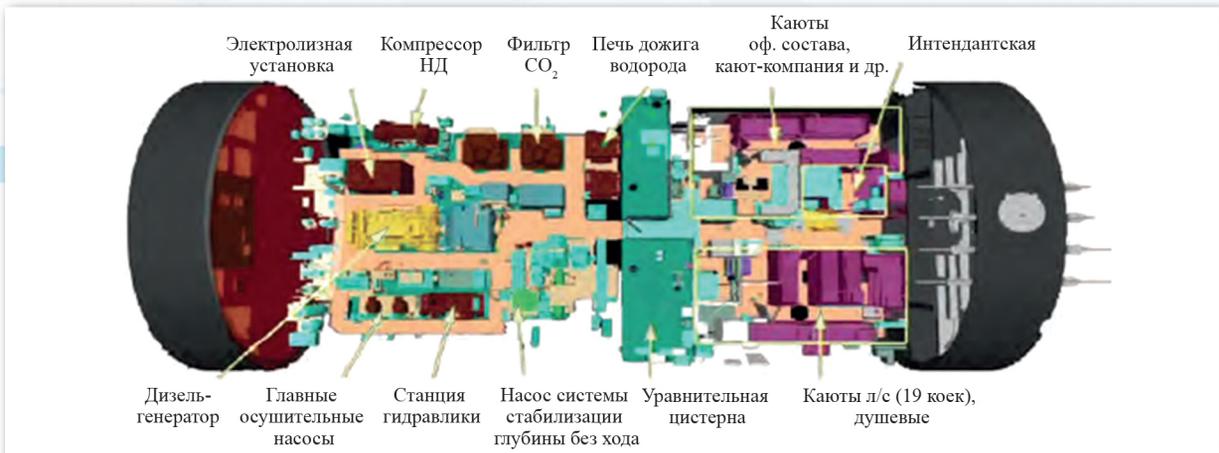
**Рис. 2.** Функциональные и супермодули атомной подводной лодки типа Virginia  
**Fig. 2.** Functional modules and supermodules of Virginia-class SSN





**Рис. 6.** Компьютерное изображение общего размещения постов центрального пункта управления и носовой выгородки, расположенных на второй палубе первого отсека

**Fig. 6.** Computer-based image of general arrangement for central station and forward enclosure at Deck 2 of Compartment 1



**Рис. 9.** Компоновка оборудования на третьей палубе второго отсека

**Fig. 9.** Arrangement of equipment at Deck 3 of Compartment 2



**Рис. 10.** Секция изолированной палубной конструкции (объемной опорной рамы оборудования) третьей палубы второго отсека

**Fig. 10.** Part of isolated deck structure (large bearing frame of equipment) at Deck 3 of Compartment 2



**Рис. 11.** Участок объемной рамы третьей палубы второго отсека с фундаментами оборудования

**Fig. 11.** Part of large frame Deck 3 of Compartment 2 with equipment foundations