

© В.Н.Пархоменко, В.В.Пархоменко, 2012

Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН, Санкт-Петербург

СНИЖЕНИЕ ШУМНОСТИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ АТОМНЫХ ПОДВОДНЫХ ЛОДОК В ПЕРИОД С 1965 ПО 1995 г.

Шумность корабля является его тактико-техническим элементом, характеризующим: скрытность от обнаружения шумопеленгаторами; защищенность от оружия, снабженного акустическими системами управления; условия эффективной работы корабельных гидроакустических средств обнаружения, классификации и целеуказания; условия обитаемости.

В рамках одной статьи не представляется возможным охватить весь аспект проблемы. Поэтому авторы хотели бы оговорить, что они коснутся только 1/3 октавных составляющих подводного шума (ПШ) кораблей, т.е. первичного гидроакустического поля (ГАП), измеренного в стандартных условиях (измеряющее устройство – одиночный ненаправленный гидрофон, полоса прозрачности фильтра – 1/3 октавы, расстояние до измеряемого объекта (r) – 50 м, частотный диапазон измерений – около 5 Гц–100 кГц). Эта идеология измерений и сейчас является доминирующей, хотя уже в значительной степени устарела и в настоящее время совершенствуется. Следует заметить, что использование действующей идеологии на протяжении более 30 лет позволило снизить уровень подводного шума отечественных атомных подводных лодок в 30 раз. Одно это, по нашему мнению, делает рассказ о том, как и за счет чего были достигнуты эти успехи, небезынтесным. В статье излагается только техническая сторона вопроса, без упоминания многочисленных участников работ.

Скрытность действия – основное тактическое свойство подводной лодки. Принято считать, что излучаемый подводный шум – основная характеристика, влияющая на скрытность, и даже отождествляют его со скрытностью. Но это не так. Многие факторы – гидрологоакустические условия плавания, использование подводного звукового канала, маскировка, действия командира – могут снижать или повышать скрытность. Бесспорно одно: малозумность – это качество, достигаемое работой проектантов, строителей, контрольно-приемочного аппарата, эксплуатационщиков. Это качество значительно влияет на обнаружение цели и дает преимущество той стороне боевого конфликта, уровень шумности подводных лодок которой ниже.

Невозможно в статье рассмотреть все многообразие терминов и определений, относящихся к боевым и тактическим свойствам подводных лодок. Однако на широко распространенном понятии – «обнаружение цели» – нельзя не остановиться хотя бы кратко. В справочной, технической, специальной литературе и руководящих документах это понятие получило весьма разнообразные трактовки. Их анализ позволил авторам предложить формулировку, наиболее точно отражающую существо этого термина. Обнаружение цели – это установление энергетического контакта с целью, классификация и определение ее координат.

Для иллюстрации в общем виде (вполне допустимом при рассмотрении вопроса о понятиях) результат обнаружения цели, оцениваемый вероятностными характеристиками, можно условно представить в виде

$$P_{\text{обн}} = P_{\text{к}} \cdot P_{\text{пк}} \cdot P_{\text{пок}},$$

где $P_{\text{обн}}$ – вероятность обнаружения цели; $P_{\text{к}}$ – вероятность установления контакта (получение сигнала от источника); $P_{\text{пк}}$ – вероятность правильной классификации (установ-

ление класса или типа сигнала); $P_{\text{пок}}$ – вероятность правильной оценки координат, т.е. вероятность попадания полученной оценки координат в заданный интервал значений.

В действительности взаимосвязи указанных составляющих процесса обнаружения цели значительно сложнее по той причине, что при выработке всех трех решений используется информация, заложенная в один и тот же обнаруженный сигнал, и во многом определяется одними и теми же его параметрами (с уточнениями за счет дополнительного применения так называемых «поведенческих» признаков при классификации). В качестве примера таких взаимосвязей и соответственно взаимного влияния можно указать, что координаты объекта сами по себе являются классификационной информацией, а класс (тип) может позволить как уточнить оценку координат, так и уменьшить ошибку обнаружения ложного сигнала и т.п.

Как же достигается малошумность?

Объективной характеристикой корабля являются уровни звукового давления в заданной полосе частот, определенные в фиксированных точках окружающей среды. Условия определения спектра оговариваются методиками. Таким образом, эффективность средств и способов снижения шумности определяется достигнутым снижением звукового давления. Это снижение носит недостаточно «организованный» характер. Поэтому решается задача оптимизации операции снижения шумности. В формализованном виде она может быть представлена как поиск глобального минимума целевой функции L_p

$$L_p(x_1 \dots x_n) = \min_{\theta, \varphi, l} \left[20 \lg \frac{P(x_1 \dots x_n)}{P_0} \right]^{\Delta f_i},$$

где P – звуковое давление в точке акустического поля корабля с координатами θ, φ, l , отнесенными к частотной полосе Δf_i ; P_0 – нулевой порог давления; $x_1 \dots x_n$ – параметры, подлежащие вариации.

Отсюда видны трудности решения «сквозных» задач.

Видно также, что решение оптимизационной задачи «в лоб» – дело сложное и малоперспективное.

В связи с этим при решении используется известный принцип декомпозиционного подхода, состоящий в отыскании условий, при которых допустимо разбиение сложной колебательной системы на подсистемы, имеющие слабую обратную связь. В этом случае как расчет колебаний, так и их оптимизация распадаются на ряд последовательных и по существу самостоятельных операций в соответствии с физической моделью, представленной на рис. 1.

Основной расчетной методикой ожидаемых уровней подводного шума является методика «Альбит», используемая и совершенствуемая более 40 лет. Изначально в центре расчетных методов были заложены возмущающие силы, действующие непосредственно в жидкости в соответствии с соотношением

$$P = \frac{kF}{4\pi R},$$

где k – волновое число; F – амплитуда возмущающей силы; R – расстояние от точки приложения силы до точки наблюдения вдоль линии действия силы; P – эффективное давление в жидкости.

От поколения к поколению расчетные зависимости кораблей совершенствовались, обретая полуэмпирический и эмпирический характер.

Стало ясно, что основными характерными чертами облика малошумной подводной лодки (критерии малошумности) являются: одновальность, однокорпусность, низкооборотность движителей, малошумность механизмов, достигаемая за счет их малой удельной мощности, большой объем вибропоглотителей в комплексе корабельных средств акустической защиты.

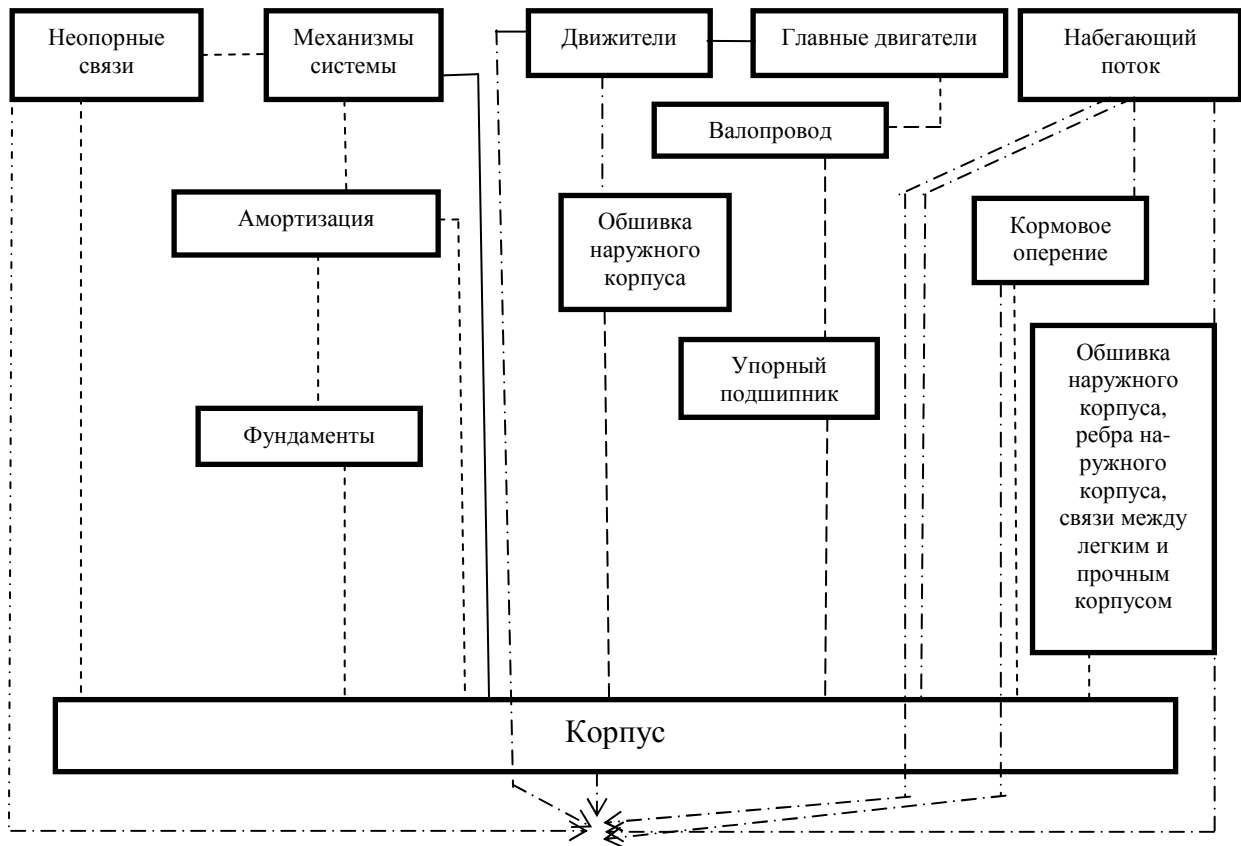


Рис.1. Физическая модель подводной лодки.

Вибрации, структурный шум — — — — —>
 Воздушный шум —————>
 Подводный шум - · - · - ·>

Нетрудно заметить, что черты этого облика в полной мере соответствуют атомной подводной лодке с баллистическими ракетами (ПЛАРБ) ВМС США типа «Огайо». О том, что именно такие технические решения обеспечивают малошумность, советские акустики знали еще в начале 1970-х годов, и в число предложений по снижению шумности упомянутые решения включались как общеизвестные.

Однако если для нас все было просто и очевидно, то вполне закономерно возникает вопрос: почему советские подводные лодки не удовлетворяют ни одному из вышеперечисленных критериев? Известны достоинства, которыми обладают двухкорпусные подводные лодки. В их числе:

- улучшенная защита прочного корпуса от противолодочного оружия;
- лучшее использование объема прочного корпуса при наличии внешних шпангоутов;
- возможность размещения в междукорпусном пространстве обмоток размагничивающих устройств, буев связи, баллонов воздуха высокого давления, дистанционно управляемых снарядов, средств гидроакустического противодействия и гидроакустических покрытий;
- увеличенная защищенность корпуса от повреждений торпедами на учениях, при посадке на мель, столкновениях.

Такие лодки, хотя и обладают повышенной надежностью (доставляют меньше забот при эксплуатации в мирное время), но значительно более уязвимы в условиях боевых действий. Вместе с тем общепризнано, что двухвальные лодки имеют большую шумность (на 5–6 дБ), чем одновальные.

Относительное изменение уровней подводного шума однокорпусных и двухкорпусных подводных лодок в зависимости от скорости корабля представлено на рис.2.

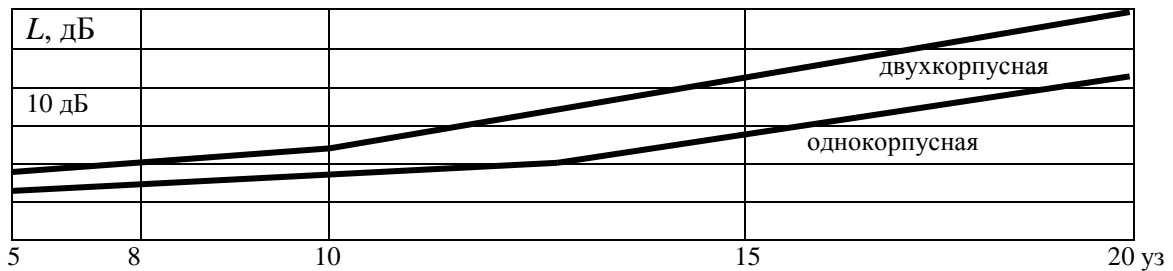


Рис.2. Относительное изменение уровней подводного шума однокорпусных и двухкорпусных подводных лодок в зависимости от скорости корабля.

Это все не в нашу пользу: однако большим достижением отечественного кораблестроения стало обесшумливание механизмов и оборудования, комплектуемых в блочные паротурбинные установки и устанавливаемые «россыпью». Наиболее эффективный амортизированный зональный блок изображен на рис.3.

Что касается эффективности амортизации, то известно, что в области низких (наиболее важных) частот она зависит от собственной частоты колебаний амортизируемого оборудования.

В табл.1 показано, как уменьшается частота колебаний f_0 от поколения к поколению корабельных механизмов.

Следует отметить, что между f_0 и δ (свободный ход колебательной системы) существует зависимость, показанная на рис.4, из которого видно, что снижение f_0 ниже 2 Гц приводит к большим (60 мм) смещениям амортизированного оборудования, что требует применения регулируемой и саморегулируемой амортизации. В этих амортизирующих подвесках сами виброизоляторы из металлической арматуры и упругой прокладки превращаются в сложные конструкции с подводом воздуха или воды и требуют особого ухода.

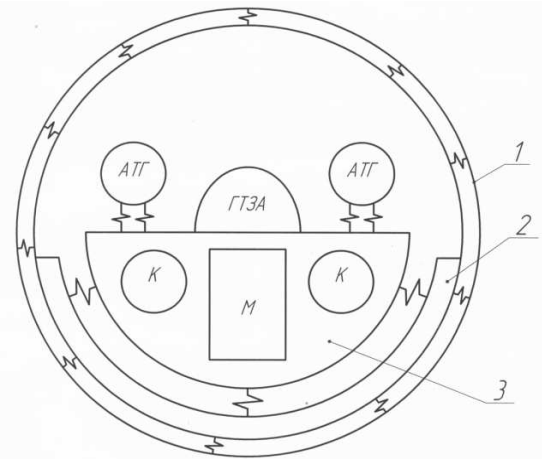


Рис.3. Поперечный разрез современной атомной подводной лодки.

1 – прочный корпус; 2 – амортизированный зональный блок; 3 – рама блока паротурбинной установки (БПТУ); АТГ – автономный турбогенератор; ГТЗА – главный турбозубчатый агрегат; К – конденсатор; М – механизмы вспомогательные.

Таблица 1

№ п/п	Поколение	Основные типы амортизаторов, их собственные частоты колебаний	
		Главные механизмы	Вспомогательные механизмы
1	I	ГТЗА установлены жестко. Редукторы – на двухпластинчатые амортизаторы ($f_0 = 30$ Гц)	Установлены на АКСС-М, двухпластинчатые амортизаторы ($f_0 = 30$ Гц)
2	II	ГТЗА установлены на наборные цилиндрические амортизаторы ($f_0 = 18$ Гц)	Установлены на АКСС-И, АПС без воздуха ($f_0 = 15$ Гц)
3	III	ГТЗА в составе блочных или агрегатированных установок размещено на резинокордных амортизаторах ($f_0 = 4$ Гц)	Установлены на АКМ, ВСМ, АПРКУ, АПРК-1000 ($f_0 = 8$ Гц)
4	IV	ГТЗА в составе БПТУ устанавливаются на амортизаторы ($f_0 = 2,5$ Гц)	Устанавливаются на АПРК-1500, ЭВ, ЭСА-100, КРМ-250, АПС ($f_0 = 6...7$ Гц)

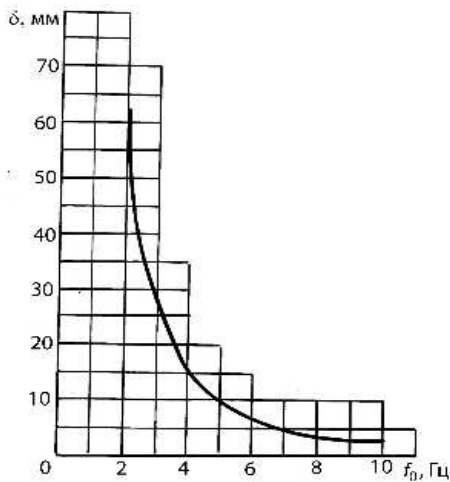


Рис.4. Зависимость между собственной частоты колебаний амортизируемого оборудования и свободным ходом колебательной системы.

Решая проблему шумности, специалисты МСП, ВМФ, АН СССР создали сотни новых технических решений ее снижения, внедрив их на подводные лодки: принципиально новые типы виброизоляторов, вибродемфирующих и звукоизолирующих покрытий, резиноармированных рукавов, виброизолирующих подвесок, наружных акустических покрытий и многое другое.

В 1981 г. к проблеме активно подключилась «большая наука». На совещании, состоявшемся в Институте машиноведения (ИМАШ) АН СССР, обсудили все проблемы акустики, наметили решения. По предложению Главнокомандующего ВМФ был введен метод акустического проектирования подводных лодок (рис.5).



Рис.5. Метод акустического проектирования подводных лодок.

Под акустическим проектированием следует понимать часть системного проектирования, в которой устанавливается взаимосвязь между конструктивными элементами подводной лодки и заданными характеристиками шумности.

Что касается движительных комплексов, то, несмотря на их многообразие, проектанты отдают предпочтение низкооборотному гребному винту большого диаметра составной конструкции.

Таким образом, общими усилиями учреждений и предприятий науки, промышленности и ВМФ за годы Советской власти удалось добиться снижения подводного шума атомных подводных лодок от поколения к поколению (рис.6). При этом следует иметь в виду, что количество создаваемых ВМФ атомных подводных лодок в отдельные годы превышало 10 единиц. Можно представить, как напряженно работали в это время судостроительная промышленность и сопутствующие отрасли, какие делались капиталовложения.

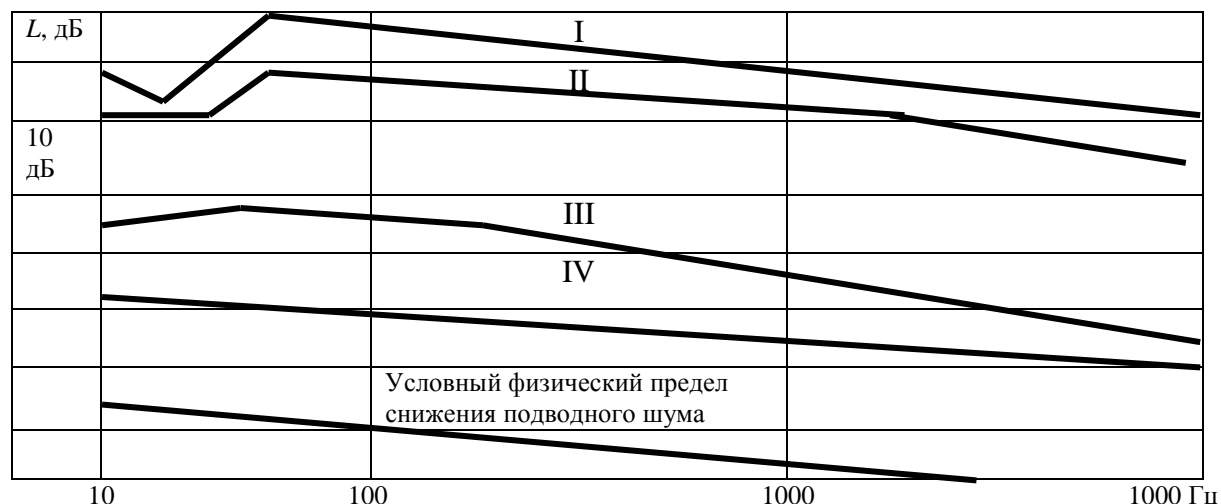


Рис.6. Снижение подводного шума атомных подводных лодок от поколения к поколению.

В ряду государственных целевых программ, направленных на повышение скрытности и защищенности кораблей по гидроакустическим полям, особое место занимает программа опытно-конструкторских и научно-исследовательских работ по проблеме «Защита», выполненная с 1965 по 1995 г. (табл.2).

Таблица 2

Перечень ОК и НИР, выполненных по проблеме «Защита»

№ п/п	Шифр ОК и НИР	Решение о постановке	Срок проведения	Кол-во работ	Состав исполнителей		Требования	Примечание
					министерства	предприятия		
1	Защита-1	Пост. ЦК КПСС и СМ СССР № 441-165 от 04.06.65	1965-1968	25	10	40	ТЗКС-68	Требования согласованы Минсудпромом
2	Защита-2	Пост. ЦК КПСС и СМ СССР № 307-117 от 06.05.68	1969-1974	98	22	97	ТЗКС-75	То же
3	Защита-3	Пост. ЦК КПСС и СМ СССР № 726-237 от 05.09.74	1974-1979	110	25	111	ТЗКС-82	» »
4	Защита-4	Пост. ЦК КПСС и СМ СССР № 484-156 от 09.06.80	1980-1985	100	28	163	ТЗКС-86	» »
5	Защита-5	Пост. ЦК КПСС и СМ СССР № 741-1208 от 19.06.86	1986-1990	60	28	170	ТЗК-90	Не согласованы Минсудпромом только для НК
6	Защита-6	Решение ВПК № 91 от 05.1991	1991-1995	10	11	62	-	

Литература

1. Пархоменко В.Н. Комплексное применение средств акустической защиты для снижения вибрации и шума корабельного оборудования. 2001. НИЦ «Моринтех».
2. Пархоменко В.Н. Решая проблемы шумности // Морской сборник. 1993. № 2.

