

УДК 623.983

**А. В. ДЕРЕПА,***кандидат технических наук**(Центральный научно-исследовательский институт вооружения и военной техники, г. Киев)*

## **Гидроакустические помехи и их влияние на структуру построения системы «гидроакустическая станция – надводный корабль» (Часть I)**

*Исходя из задачи систематизированного исследования характеристик гидроакустического вооружения в реальных условиях, в работе рассматриваются особенности построения систем «гидроакустическая станция – надводный корабль» с учетом влияния на их структуру гидроакустических помех.*

*Виходячи зі задачі систематизованого дослідження характеристик гідроакустичного озброєння, в роботі розглядаються особливості побудови систем «гідроакустична станція – надводний корабель» з врахуванням впливу на їхню структуру гідроакустичних завад.*

Прием гидроакустических сигналов системой «гидроакустическая станция – надводный корабль» («ГАС-НК») всегда осуществляется на фоне помех. Под гидроакустическими сигналами понимаются шумы пеленгуемых целей, эхосигналы от объектов поиска, запросные и ответные сигналы звукоподводной связи и опознавания. Очевидно, что для получения больших дальностей действия системы «ГАС-НК» необходимо обеспечить прием малых значений полезных сигналов. Этому препятствуют помехи, уровень которых зависит от различных факторов. Рассмотрим эти факторы и оценим, как они влияют на структуру построения системы «ГАС-НАК».

Помехи, воздействующие на систему «ГАС-НК», условно можно разделить на две большие группы: естественные и искусственные.

К естественным помехам относятся: шумы морской среды; шумы корабля-носителя гидроакустической станции (ГАС), излученные в морскую среду; шумы, создаваемые в окружающей морской среде присутствующими кораблями и судами (шумы морского судоходства); сигналы активных ГАС других носителей, находящихся в данном районе; реверберация моря. Эти, так называемые гидроакустические, помехи связаны либо с шумами морской среды, либо с кораблем-носителем ГАС и его движением. К шумам среды относят динамические шумы моря, биологические, сейсмические и технические шумы, имеющие место в зоне действия системы «ГАС-НК». Шумы кораблей и судов, находящихся в этой же зоне, относятся к локальным источникам помех. Помехой являются и сигналы активных ГАС, действующих в рассматриваемой зоне. Реверберация моря представляет собой результат рассеяния звука на неоднородностях морской среды и ее границах при работе системы «ГАС-НК» в активном режиме. Эта рассеянная энергия принимается системой при ее работе в режиме приема и выступает как помеха нормальной работе системы. Таким образом, гидроакустические помехи, в поле которых работает система «ГАС-НК», образуется различными физическими источниками. Каждый из них может формировать одну или несколько составляющих поля помех, отличающихся как амплитудами звуковых давлений, так и их спектральным распределением.

К искусственным помехам относят помехи электрического происхождения, включающие собственные электрические шумы электронной аппаратуры и приемных антенн ГАС и электрические наводки, создаваемые электрооборудованием корабля-носителя ГАС. Электрические помехи определяют целесообразный предел снижения акустических помех. Суммарное поле помех работе систем «ГАС-НК» образуется путем наложения совокупности всех перечисленных выше составляющих поля помех.

Как было показано в работах [1, 2], систему «ГАС-НК» целесообразно образовывать из двух компонентов. Один компонент включает ГАС с гидроакустическими антеннами, стационарно размещаемыми на корпусе НК. Второй компонент включает ГАС с антеннами переменной глубины (АПГ), которые в рабочем состоянии выносятся за корпус НК. Поэтому представляется

естественным рассмотреть влияние помех, создаваемых кораблем-носителем, с учетом наличия этих двух компонентов в комплексной системе.

**1. Помехи, связанные с кораблем-носителем ГАС и его движением.** Помехи, связанные с кораблем-носителем и его движением, подразделяют на шумовую (винтовую), вибрационную и гидродинамическую составляющие. Источниками шумовой помехи являются вало-лопастные кавитационные процессы, возникающие при работе гребных винтов. Шумовая помеха распространяется в воде и попадает на гидроакустические антенны, находящиеся в камере обтекателя для ГАС с антеннами, размещенными на корпусе корабля, и в камере буксируемого тела для ГАС с АПГ. Вибрационная составляющая создается работающими механизмами корабля. Последние вызывают вибрации корпусных конструкций, которые либо излучают в воду, либо по корпусным конструкциям передаются непосредственно на элементы приемных антенн, возбуждая их. Естественно, что влияние этой составляющей помехи в максимальной мере проявляется при работе ГАС с корпусными антеннами. Гидродинамическая составляющая возникает вследствие турбулизации пограничного слоя на поверхностях обтекателей корабля, буксируемого тела, обшивок корпуса корабля и тела и срыва вихрей с их шероховатостей. Пульсации гидродинамического давления в пограничных слоях корабля и буксируемого тела возбуждают вибрации их поверхностей, следствием чего является возникновение помех. Траектории распространения акустических помех, мешающих работе системы «ГАС-НК», крайне разнообразны (рис. 1).

По своей интенсивности корабельные помехи являются наиболее мощными по сравнению со всеми другими видами помех. В свою очередь, винтовые помехи по сравнению с гидродинамическими и вибрационными помехами являются более интенсивными, и именно они ограничивают скорость хода НК для обеспечения эффективной работы системы «ГАС-НК». Влияние помех

гребного винта сильнее проявляется на НК малого водоизмещения, где разнос расстояния «обтекатель – винт» сравнительно небольшой.

Причина образования винтовых помех состоит в том, что при вращении гребного винта НК на конце его лопастей создаются области пониженного давления. Эти области наполняются воздухом и парами воды, образуя кавитационные пузыри. При движении НК и при достаточно большой скорости вращения винта эти пузыри при переходе в области нормального давления начинают лопаться, создавая мощный кавитационный шум [3, 4, 5, 6] в широком диапазоне частот. Начало образования кавитации на винте НК зависит от числа оборотов вала. Кроме кавитации винтовые шумы обусловлены и другими причинами: вихреобразованием, вызванным обтеканием лопастей гребных винтов потоком воды, и вибрацией кромок лопастей гребных винтов. Частоты этих колебаний лежат в области низких частот.

Как уже говорилось, вибрационные помехи возникают вследствие вибрации корпуса НК и его работающих механизмов. Помехи от механизмов и машин НК сильнее проявляются при малых и самых малых ходах кораблей. Шумы механизмов проявляются в основном на низких частотах в виде дискретных составляющих в спектре помех. Поскольку практически независимо от режима движения НК его механизмы работают с постоянной частотой вращения, то шум машин и механизмов с увеличением скорости хода растет незначительно. На уровень помех работе антенн, стационарно размещенных на корпусе НК, наибольшее влияние оказывают механизмы, размещенные в непосредственной близости от антенны.

Гидродинамические помехи обусловлены сопротивлением морской воды движению корабля. Причиной их возникновения является несовершенство обводов погруженной части корабля и буксируемого тела и, в частности, формы обтекателей.

Являясь незначительными на малых ходах НК, гидродинамические помехи возрастают с увеличением

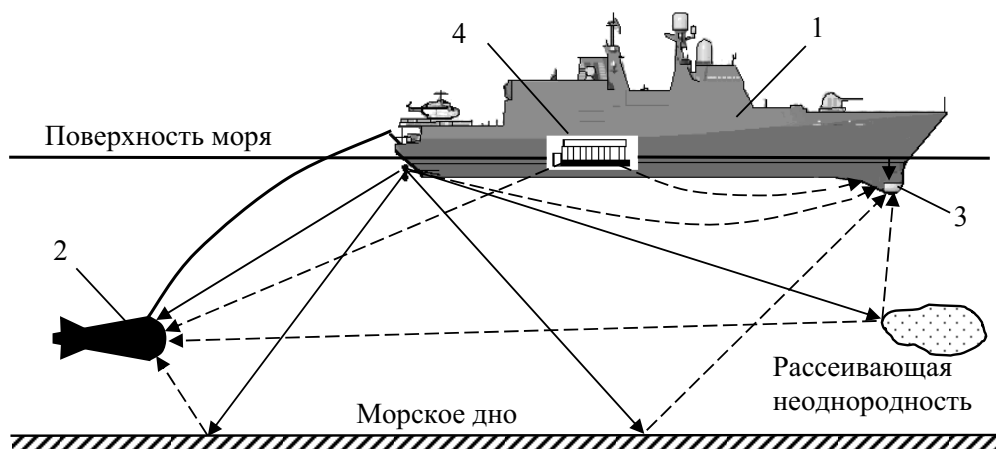


Рис. 1. Траектории распространения акустических помех к гидроакустическим антеннам комплексной системы «ГАС-НК»:

1 – корабль-носитель; 2 – буксируемое тело с антенной;  
3 – подкильная антенна; 4 – корабельные механизмы

скорости хода. На больших скоростях гидродинамический шум от участков корпуса НК, расположенных вблизи гидроакустических антенн, и на поверхности обтекателя антенн может стать преобладающим в поле помех. Спектры гидродинамического шума имеют плоский участок, ориентировочно до сотен герц, с дальнейшим спадом пропорционально  $f^{-3}$ , где  $f$  – частота шума. С увеличением скорости хода НК уровень плоского участка растет пропорционально кубу, а участок спада спектра – шестой степени скорости.

Рассматриваемые источники помех являются взаимонезависимыми. Поэтому суммарное давление помех определяется по принципу энергетического суммирования

$p_{\Sigma}^2 = \sum_{i=1}^n p_i^2$ , где  $n$  – общее число источников помех, а  $p_i^2$  – интенсивность  $i$ -го источника.

Корабельные помехи – это совокупность колебаний с разными амплитудами, частотами и фазами. Обычно корабельные шумы имеют широкий спектр частот, начиная от инфразвуковых и кончая ультразвуковыми частотами. Наибольшая интенсивность приходится на область частот от 200 до 3000 Гц. Шумы разных типов кораблей существенно отличаются между собой, поскольку каждый тип корабля характеризуется своим, присущим только ему, распределением интенсивности в спектре шума корабля. Даже у одного и того же корабля при увеличении скорости хода интенсивность шумов винта увеличивается в высокочастотной части спектра и уменьшается в низкочастотной. Заметим, что в последние годы достигнуты значительные успехи в области снижения шумности НК. Сегодня ее уровень выше по сравнению с малозумными ПЛ всего лишь на 20–30 дБ [7]. В то же время для шума НК характерны более выраженные дискретные составляющие вально-лопастного ряда.

Естественно, что все изложенные выше особенности структурных помех корабля-носителя системы «ГАС-НК» должны найти отражение при выборе структуры построения того компонента этой системы, гидроакустические антенны которого стационарно размещены на корпусе НК.

Рассмотрим теперь особенности корабельных помех, влияющих на структуру построения системы «ГАС-НК» для ГАС с АПГ. Прежде всего, отметим, что применение таких антенн требует:

специальных режимов движения корабля-носителя;  
специального кабель-троса;

размещения гидроакустических антенн в специальных контейнерах, буксируемых за кораблем или опускаемых с корабля.

Естественно, что все эти конструктивные элементы характеризуются возникновением своих структурных помех. В частности, кабель-трос, позволяя удалить АПГ от корабля-носителя ГАС с АПГ и уменьшить тем самым влияние корабельных помех на работу антенны, сам является источником вибрационных помех. Причина этого – возбуждение кабель-троса распределенной по его длине нагрузкой, создаваемой естественными морскими течениями для опускаемых АПГ и искусственными

течениями при движении НК для буксируемых АПГ. При этом интенсивность помех и их частотный спектр в значительной мере определяются удобообтекаемой формой и размерами тела обтекателя и скоростями набегающих на тело потоков жидкости. В целом же при заглублении АПГ до 150–200 м спектральные уровни помех примерно на порядок меньше, чем в камерах корабельных обтекателей.

## 2. Помехи, создаваемые шумами морской среды.

Система «ГАС-НК» будет работоспособной и эффективной в том случае, если ее минимальный уровень помех не будет превышать минимальный уровень шумов моря. К шумам морской среды относят следующие:

динамические шумы, обусловленные динамикой морских волн, турбулентных потоков в воде и атмосфере, шумом прибоя, подводным шумом дождя и т. п.;

биологические шумы, создаваемые различными представителями морской фауны;

сейсмические шумы, вызванные тектонической и вулканической деятельностью, образованием волн цунами;

технические шумы, являющиеся следствием деятельности человека, включая шумы судоходных трасс, шумы в гаванях и прибрежных районах и т. п.

В любой точке морской среды шум моря является результатом сложения акустических колебаний, приходящих с разных направлений и отличающихся по амплитуде, фазе и частоте.

*Динамические шумы* отмечаются во всех районах Мирового океана при любых гидрометеорологических условиях. Основными источниками шумов в инфразвуковом диапазоне частот  $f < 200 \dots 300$  Гц являются турбулентные потоки в воде и атмосфере и стоячие поверхностные волны. Шумы штормов и циклонов, приходящие из удаленных районов, искажают спектр динамических шумов. Близость судоходных трасс и малое затухание низких частот обуславливает повышение уровня шума в диапазоне частот 20–100 Гц. В звуковом диапазоне частот шумы создаются турбулентными потоками, кавитационными процессами, разрушением ветровых волн и дождем. Уровни шумов тесно связаны с гидрометеорологическими условиями данного района моря. В целом динамические шумы характеризуются [3] максимальными уровнями в области инфразвуковых частот и их спадом с увеличением частот (рис. 2).

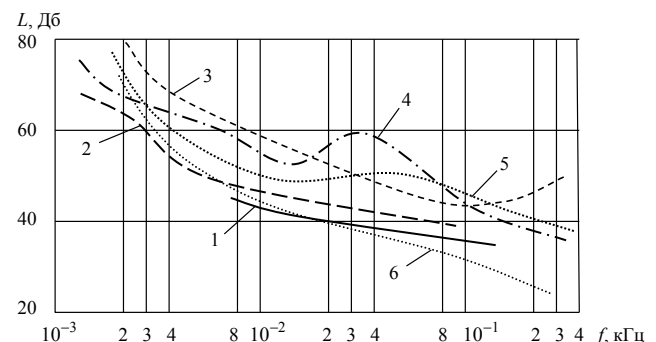


Рис. 2. Спектральные характеристики морских шумов: 1–4 – мелкое море (соответственно январь, февраль, март, апрель); 5, 6 – глубокое море (районы, соответственно, близкий и достаточно удаленный от судоходных трасс)

Особенностью динамических шумов являются также анизотропные поля шумов в вертикальной плоскости, характерные для области частот, большей 200–300 Гц. Характер анизотропии существенно зависит от состояния поверхности моря, распределения скорости звука по глубине, свойств дна и т. п.

**Биологические шумы.** Создаются живыми организмами в море и являются многочисленными и разнообразными. Охватывают диапазон частот от десятков герц до десятков килогерц (рис. 3) [3].

**Сейсмические шумы.** Находятся в области низких частот (рис. 4) [3]. Их источниками являются сейсмические процессы, постоянно происходящие на Земле. Источниками инфразвуковых шумов являются микросейсмические колебания. Они имеют спектр частот от 0,1 Гц до 10–25 Гц. Спектр подводного шума извержения вулкана лежит обычно в диапазоне частот от 1–3 Гц до 5–100 Гц.

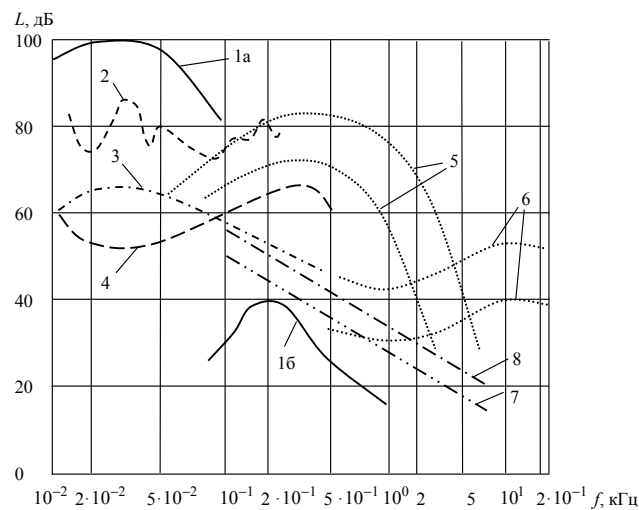


Рис. 3. Спектральные характеристики биологических звуков и шумов:

1а и 1б – спектры шума рыб и «хора» с участием рыб-жаб; 2 – спектр звука морской свиньи; 3 – спектр звука морского петуха; 4 – барабанщики; 5 – «хоры» скоплений рыб семейства горбылевых; 6 – спектр шума, создаваемого скоплением раков-щелкунов; 7, 8 – шумы моря по Кнудсену для состояния моря 2 и 4 балла

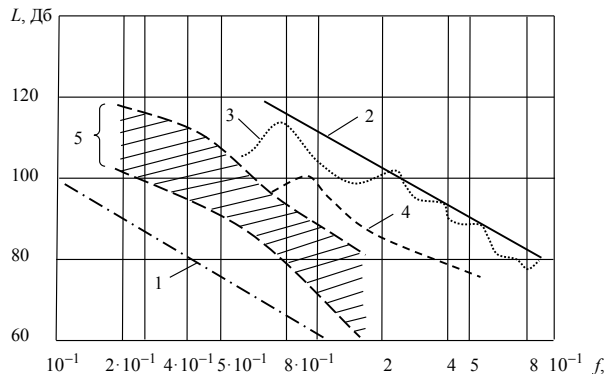


Рис. 4. Спектры шумов сейсмического происхождения: 1, 2 – минимальный и максимальный уровни динамических шумов; 3, 4 – спектры шумов дальних землетрясений в мелком и глубоком морях; 5 – спектры постоянного сейсмического шума

**Шумы судоходства.** Являются результатом сложения шумовых полей большого числа кораблей с учетом влияния условий распространения их в морских условиях (рис. 5) [3]. Каждый из кораблей является источником широкополосного шума. Шумовые поля кораблей характеризуются наличием сплошного спектра и дискретных составляющих на частотах работы машин и механизмов и их гармониках. При движении кораблей в спектрах их шумов появляются новые дискретные составляющие и сплошной кавитационный шум. Их инфразвуковые составляющие вызывают подъем уровня в спектре шумов судоходства в диапазоне частот 20–150 Гц.

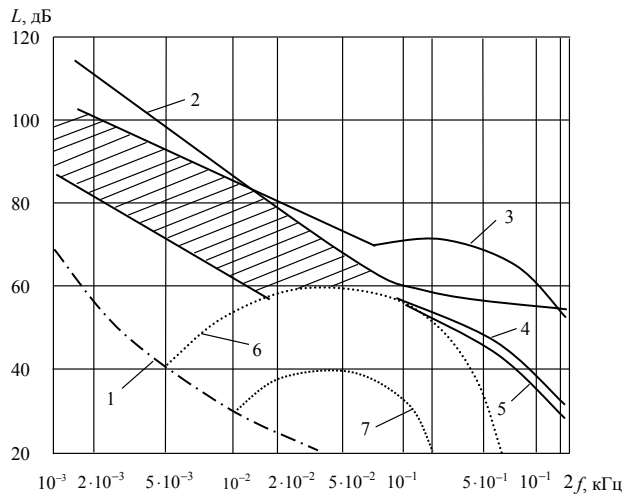


Рис. 5. Спектры шумов судоходства:

1, 2 – минимальный и максимальный уровни динамических шумов; 3 – максимальный уровень шумов в порту Нью-Йорка; 4, 5 – средние уровни шумов в морских портах; 6, 7 – шумы близкого и дальнего судоходства в районах трансатлантических линий; заштрихованная область – инфразвуковые шумы в гаванях

**3. Помехи, создаваемые реверберацией моря.**

**Морская реверберация** – процесс, описывающий во времени изменения суммарного звукового поля, рассеянного морской средой и наблюдаемого в точке размещения антенны ГАС после излучения зондирующего сигнала этой ГАС [3]. Формируется на частоте излучения ГАС и, попадая на вход приемного тракта этой же ГАС, выступает в качестве помехи обнаружению сигнала от цели. Представляет собой флуктуирующий и убывающий во времени процесс. В зависимости от характера распределения неоднородностей, рассеивающих звук, различают три вида реверберации: объемную, слоевую и граничную.

**Объемная реверберация** формируется рассеивателями, заполняющими безграничное пространство. Для слоисто-неоднородной среды ее интенсивность определяется выражением

$$J_{o.p.} = \frac{P_a K_o \exp(-4\beta'r)}{16\pi^4} \int_V k_o(\vec{r}) A_f^2 d\vartheta,$$

где  $P_a$  и  $K_o$  – акустическая мощность и коэффициент концентрации излучающей антенны ГАС;  $k_o(\vec{r})$  – коэффициент объемного рассеяния рассеивателями,

распределенными в элементе объема  $d\mathcal{V}$  с центром в точке  $\vec{r}$ ;  $A_f$  – фактор аномалии звука в данной точке пространства;  $\beta'$  – коэффициент пространственного затухания звука.

*Слоевая реверберация* возникает вследствие рассеяния звука неоднородностями, сосредоточенными в слое воды. Это может быть приповерхностный слой воздушных пузырьков или рассеивающие звук слои, находящиеся в толще воды. Интенсивность слоевой реверберации вычисляется по формуле

$$J_{сл.р.} = \frac{P_a K_o k_{сл}(\vec{l})}{8\pi^3} \int_L A_f^2(\vec{r}) dl,$$

где  $k_{сл}(\vec{l})$  – безразмерный коэффициент поверхностного рассеяния;  $A_f$  – фактор аномалии в средней точке рассеивающей поверхности;  $L$  – протяженность зоны поверхностного рассеяния.

*Граничная реверберация* обусловлена рассеянием звука на границе раздела сред. Ее интенсивность определяется выражением

$$J_{гр.р.} = \frac{P_a k_z(\vec{l}) c \tau H \eta_z}{16\pi^4} \exp(-4\beta r),$$

где  $H$  – кратчайшее расстояние от излучателя до дна;  $\eta_z$  – коэффициент, учитывающий влияние направленных свойств ГАС на уровень реверберации;  $k_z(l)$  – безразмерный коэффициент рассеяния от границы;  $\tau$  – длительность импульса излучения;  $c$  – скорость звука в среде;  $\beta$  – коэффициент пространственного затухания.

Произведенный системный анализ помех при работе комплексной системы «гидроакустическое вооружение – надводный корабль», позволяет утверждать, что с точки зрения влияния помех на структуру построения системы «ГАС-НК» эти помехи можно классифицировать по двум направлениям:

помехи, влияющие на выбор архитектуры построения надводного корабля – носителя ГАС;

помехи, определяющие структурные схемы построения ГАС, размещаемых на корабле-носителе.

Учет помех первого направления имеет целью создание в системе «ГАС-НК» на корабле-носителе наиболее комфортных условий для работы ГАС. При этом на первое место выходит принятие во внимание структурных акустических помех корабля-носителя и их минимизация хотя бы до уровня помех, создаваемых шумами окружающей систему «ГАС-НК» морской среды в местах расположения гидроакустических антенн ГАС. Естественно, что при таком подходе гидроакустические помехи окружающей морской среды являются, по крайней мере на сегодняшний день, фоновыми и играют подчиненную роль.

Учет помех второго направления предусматривает дальнейшее совершенствование путей построения ГАС НК с целью повышения эффективности всей системы «ГАС-НК». При этом на первое место выходят помехи, создаваемые шумами окружающей морской среды, а корабельные структурные акустические помехи либо

приближаются к ним, как это имеет место для ГАС с гидроакустическими антеннами, размещаемыми в корпусе носителя ГАС, либо меньше их, как это имеет место для ГАС с антеннами переменной глубины.

**4. Влияние гидроакустических помех на выбор структуры построения системы «гидроакустическая станция – надводный корабль» с гидроакустическими антеннами, размещаемыми на корпусе корабля.** Как было показано выше, структурные акустические корабельные помехи существенно отличаются между собой для систем «ГАС-НК» с антеннами, размещаемыми на корпусе корабля, и с АПГ.

Рассмотрим последовательно, к чему приводит учет влияния этих помех в архитектуре НК на структуру построения каждой из указанных двух систем. Как уже отмечалось, в системах «ГАС-НК» с корпусными гидроакустическими антеннами основной целью учета влияния структурных акустических корабельных помех является минимизация их уровня в местах расположения корпусных гидроакустических антенн. Физическими приемами, обеспечивающими достижение этого эффекта, являются:

защита гидроакустических антенн от набегающего водного потока, возникающего при движении НК;

максимальное, по возможности, удаление гидроакустических антенн от шумящих и вибрирующих корабельных механизмов;

акустическая защита мест расположения в корпусе НК гидроакустических антенн от проникновения в них по корпусу корабля и по водной среде акустических и вибрационных помех, создаваемых корабельными механизмами;

акустическая защита гидроакустических антенн от воздействия шумов, создаваемых гребными винтами.

Практическая реализация этих приемов в значительной мере зависит от класса (проекта) НК.

Создание благоприятных условий для работы систем «ГАС-НК» с корпусными антеннами сводится к практической реализации двух условий. Первое из них обуславливает необходимость размещения гидроакустических антенн в той части корпуса НК, где структурные корабельные акустические помехи, создаваемые шумами и вибрациями корабельных механизмов, являются минимальными. К таким частям относятся носовая оконечность НК и пространство под килем НК. При этом в целях обеспечения наилучшего расположения антенн их конструкция должна быть согласована с архитектурой корабля. Второе условие связано с выделением в корпусе корабля специального, заполняемого жидкой средой отсека, называемого камерой обтекателя, в которой размещается гидроакустическая антенна. Поверхности стенок этого отсека, отделяющих его от помещений корпуса НК, заполненных воздухом, должны иметь специальную форму и покрытие материалами, поглощающими вибрационную энергию и поглощающими или отражающими звуковую энергию.

Каждый из двух возможных вариантов изменения архитектуры НК для обеспечения комфортных условий работы ГАС в системе «ГАС-НК» имеет свои достоинства и недостатки.

Использование акустически защищенной носовой оконечности НК для размещения гидроакустических антенн ГАС не обеспечивает необходимые секторы обзора антенн, исключая из них кормовой сектор. Это обусловлено наличием в камере обтекателя НК коффердама, затеняющего этот сектор работы системы «ГАС-НК». Кроме того, малая величина заглубления гидроакустической антенны в носовом отсеке НК обуславливает необходимость принятия необходимых конструктивных мер по обеспечению исключения кавитационных явлений в камере обтекателя НК при излучении гидроакустической антенной заданной акустической мощности. Эти меры включают: во-первых, создание путем применения системы гидравлического подпора в камере обтекателя гидростатического давления определенной величины, позволяющего излучать с единицы поверхности гидроакустической антенны тот уровень акустической мощности, при котором кавитация еще не наступает; во-вторых, увеличение размеров камеры обтекателя до величин, включающих ближнее поле излучения гидроакустической антенны, отличающееся крайней неоднородностью и, в связи с этим, наличием областей повышенных уровней звукового давления, в которых может возникнуть кавитация.

Вариант изменения архитектуры НК в части его обводов путем включения в состав корпуса НК под его килем подкильного обтекателя с камерой для размещения гидроакустической антенны характеризуется тем, что обеспечивает полный круговой обзор гидроакустической антенны ГАС, и, в связи с большей глубиной размещения антенны, исключает (для НК большого и среднего водоизмещения) или упрощает (для НК малого водоизмещения) решение проблем, связанных с возникновением кавитации в камере обтекателя.

К недостаткам системы «ГАС-НК» с подкильным вариантом размещения гидроакустической антенны следует отнести повышенное влияние на систему уровня вально-винтовых корабельных акустических помех, обусловленное уменьшением расстояния между гидроакустической антенной и источником помех. Впрочем, этот недостаток может быть устранен введением в конструкцию камеры обтекателя для подкильных антенн защитных акустических экранов в кормовом секторе углов, что, в свою очередь, приводит к ограничению сектора обзора ГАС.

Вторым недостатком является увеличение осадки НК и рост его гидродинамического сопротивления. Одним из возможных путей преодоления этого недостатка является применение подъемно-опускных устройств для выдвигания антенн с обтекателем из корпуса НК.

Одним из вариантов изменения архитектуры корпуса корабля, в котором исключены описанные выше недостатки систем «ГАС-НК» с размещением гидроакустической антенны в носовой оконечности НК или под килем НК, является вариант, впервые реализованный в США на эсминце «Spruens». В этом варианте гидроакустическая антенна размещается в носовом бульбовом обтекателе НК [7] (рис. 6), что положительно отражается на эффективности системы «ГАС-НК» как в плане

гидроакустики, так и в плане НК. Последнее объясняется тем, что бульбовое образование в носу корабля приводит к снижению сопротивления воды на полном ходу корабля и в условиях сильного волнения, а также демпфирует килевую качку.



Рис. 6. Эсминец США «Spruens» с гидроакустической антенной (1) ГАС SQS-53 в носовой оконечности

Существенным элементом системы «ГАС-НК», определяющим обводы НК и эффективность ее акустической защиты от структурных корабельных акустических помех, является камера обтекателя НК, в которой размещаются антенна и ее элементы: корабельный обтекатель и размещенные внутри камеры экранирующие конструкции типа коффердам (рис. 7).

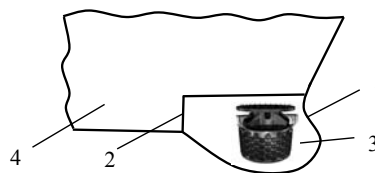


Рис. 7. Схема построения камеры обтекателя в бульбе носовой оконечности НК:

1 – звукопрозрачный обтекатель; 2 – коффердам; 3 – корпусная гидроакустическая антенна; 4 – корпус НК

К корабельному обтекателю, который предназначен для защиты корпусных гидроакустических антенн системы «ГАС-НК» от механического воздействия набегающего потока воды и от помех гидродинамической природы, предъявляются противоречивые требования. С одной стороны, являясь элементом корпуса корабля, обтекатель должен обладать достаточной прочностью, чтобы выдерживать статические и динамические нагрузки, возникающие при движении корабля, его качке, при неблагоприятных погодных условиях и т. п. С другой стороны, обтекатель должен быть звукопрозрачным, не приводить к потерям сигнала, обеспечивать минимальные отражения и рефракцию звуковых волн при их прохождении через обтекатель. Непрерывное совершенствование корабельных ГАС, входящих в систему «ГАС-НК», обуславливает и значительную эволюцию их конструкций и звукопрозрачных материалов для обтекателя [8].

Наиболее простыми являются однослойные обтекатели в виде металлического каркаса, покрытого тонким (несколько миллиметров) листом нержавеющей стали. Однослойным обтекателям с развитым реберным набором присуща значительная акустическая неоднородность, обуславливающая существенные амплитудно-фазовые искажения сигнала. Для уменьшения этой неоднородности была создана двухслойная конструкция обтекателя, в котором две оболочки из нержавеющей

Таблиця 1

| Матеріал           | Плотність,<br>кг/м <sup>3</sup> | Частота, кГц      |     |     |     |     |     |     |
|--------------------|---------------------------------|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                    |                                 | 5                 | 10  | 20  | 30  | 40  | 50  | 60  |
|                    |                                 | Амплітудні втрати |     |     |     |     |     |     |
| Композит «Spectra» | 1,05                            | 0,7               | 1,0 | 2,0 | 1,7 | 2,1 | 2,0 | 2,5 |
| Углепластик        | 1,60                            | 0,4               | 1,0 | 3,0 | 4,6 | 5,0 | 3,8 | 2,3 |
| Стеклопластик      | 1,90                            | 1,9               | 5,4 | 2,5 | 3,5 | 5,0 | 2,2 | 5,0 |

стали соединены ребрами жесткости. В целом стальные обтекатели обладают достаточной прочностью, что является их положительным качеством, но имеют существенный недостаток, состоящий в создании дополнительных акустических помех работе ГАС при деформации оболочек обтекателя на интервалах между ребрами жесткости. Предпосылка их появления – большая жесткость стальных конструкций обтекателя. Поиск путей устранения этих недостатков привел к появлению ряда новых конструкций обтекателей.

Для систем «ГАС-НК» с низкочастотными корпусными гидроакустическими антеннами была создана трехслойная «металл-вода-металл» конструкция в виде двух металлических оболочек, выполненных из стали или титана, зазор между которыми заполняется водой. Улучшение акустических свойств обтекателей такой конструкции произошло благодаря значительному сокращению количества и размеров ребер жесткости.

Для систем «ГАС-НК» с высокочастотными корпусными гидроакустическими антеннами был создан металлический перфорированный обтекатель. Он выполнен из толстого перфорированного металлического листа, воспринимающего внешнюю нагрузку, и тонкого металлического листа, которым облицовывается снаружи перфорированный лист.

В настоящее время в системах «ГАС-НК» с корпусными гидроакустическими антеннами широкое применение получили стеклопластиковые конструкции обтекателей. Они характеризуются рациональным сочетанием

прочности и устойчивости к подводным ударным нагрузкам. Применение технологической формовки конструкции обтекателей позволило достичь лучшего сочетания акустических, механических и гидродинамических свойств конструкции стеклопластиковых обтекателей. Более того, применение стеклопластиковых обтекателей в качестве подкильных конструкций, обеспечивающих плавный переход к обводам корпуса, отразилось и на архитектуре НК, позволив отказаться от необходимости использования выдвижных гидроакустических антенн с подъемно-опускными устройствами. При этом новая конструкция подкильного обтекателя имеет лучшие акустические характеристики и создает меньшие гидродинамические помехи.

Перспективы создания корабельных обтекателей следующих поколений связывают с использованием композитных материалов, армированных волокнами угля, кевлара, стекла, арамида. Сравнительные характеристики различных конструкционных материалов, используемых при построении корабельных обтекателей, изображены на рис. 8 и в табл. 1 [3].

Заканчивая рассмотрение камеры обтекателя как части системы «ГАС-НК», предназначенной для комплексного снижения уровня структурных корабельных помех в месте расположения корпусной гидроакустической антенны, и ее влияния на эффективность системы «ГАС-НК», следует особо остановиться на устройствах подавления акустических шумов, возникающих в камере обтекателя и имеющих происхождение разной физической природы. К ним относятся: отражение звуковых

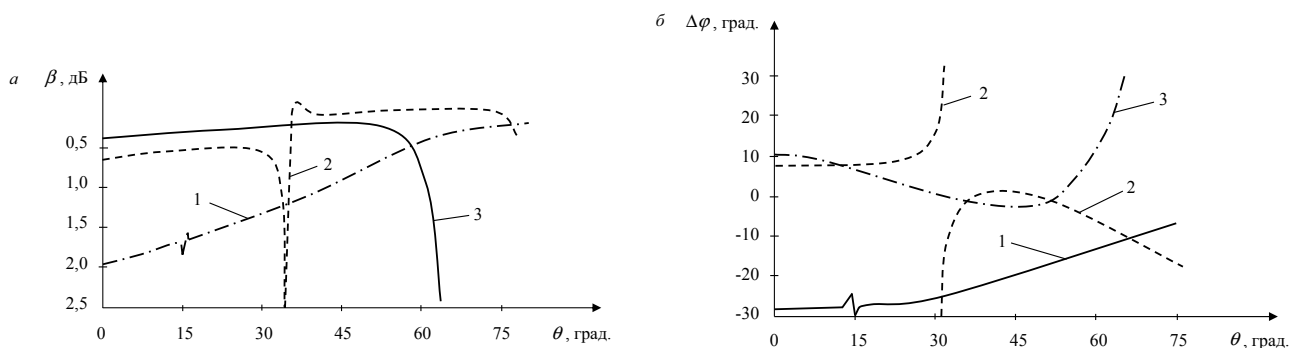


Рис. 8. Угловая зависимость амплитудных потерь  $\beta$  и фазовых  $\Delta\varphi$  искажений звука с частотой 8 кГц при прохождении через обтекатели различных конструкций:  $\theta$  – угол падения звука; а – угловая зависимость коэффициента потерь звука  $\beta$ ; б – угловая зависимость фазового сдвига  $\Delta\varphi$ ; 1 – стальной лист толщиной 7 мм; 2 – стеклопластик толщиной 20 мм; 3 – углепластик толщиной 35 мм

волн от кормовой переборки камеры обтекателя; корабельные акустические помехи, воздействующие на гидроакустическую антенну с кормовых направлений; переотражения звуковых волн от стенок камеры и звукопрозрачной части обтекателя.

В современных системах «ГАС-НК» возможны два подхода к уменьшению влияния структурных корабельных акустических помех на эффективность этих систем: пассивный и активный. Пассивный подход связан с применением различных экранирующих и виброразвязывающих конструкций, размещаемых в камере обтекателя или в корпусе корабля. В частности, для защиты корпусных гидроакустических антенн корабельных ГАС, размещаемых в бульбовых носовых, а в дальнейшем и в подкильных обтекателях от акустических помех широкое применение нашли экранирующие конструкции типа «коффердам». Они представляют собой поглощающий звук экран, который располагается в камере обтекателя со стороны тыльной части корпусной гидроакустической антенны и выполняет три функции:

ослабляет отражение звука от кормовой переборки камеры обтекателя;

защищает гидроакустическую антенну от корабельных акустических помех, воздействующих на нее с кормовых направлений;

ослабляет переотражения от стенок камеры обтекателя и его звукопрозрачного окна.

Конструкция экрана может иметь различную форму: плоскую с наклоном в вертикальной плоскости, цилиндрическую или сферическую – и акустически изолирована от корпуса корабля с помощью амортизаторов. Звукоизолирующие покрытия наносятся и на другие корпусные конструкции корабля, расположенные в камере обтекателя.

В некоторых случаях, при защите подкильных корпусных гидроакустических антенн, в особенности в НК малого водоизмещения, от акустических шумов, создаваемых винтами корабля, вместо коффердама используется специально создаваемая завеса из воздушных пузырьков между камерой подкильного обтекателя и винтами НК. Являясь эффективным акустическим звукоотражающим экраном, эта завеса полностью исключает прохождение винтолопастных акустических шумов в широком диапазоне частот к месту расположения подкильных антенн. Техническая процедура реализации активных методов компенсации структурного корабельного шума состоит в следующем [9, 10]. В местах расположения корпусной гидроакустической антенны размещается ряд приемных гидрофонов, с помощью которых определяются амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики структурного корабельного шума. В этих же местах размещаются идентичные приемным излучающие звук преобразователи. Их возбуждение осуществляется с помощью электрических сигналов, обеспечивающих излучение шума с такой же, как и при приеме, амплитудно-частотной, но противоположной фазо-частотной характеристикой. Благодаря такой схеме реализации активного метода компенсации результирующее поле структурного корабельного шума может быть доведено до требуемого уровня.

### Вывод по части 1

Таким образом, в настоящее время существуют большие возможности в части изменения структуры построения комплексной системы «ГАС-НК» с гидроакустическими антеннами, размещаемыми в корпусе корабля, позволяющие уменьшить влияние структурных корабельных помех на эффективность этой системы. Эти возможности касаются, как корабля-носителя ГАС так и самой ГАС.

В части 2 этой работы будут рассмотрены вопросы влияния гидроакустических помех на выбор структуры построения системы «ГАС-НК» с антеннами переменной глубины (АПГ).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дерепя, А. В. Гидролого-акустические особенности морской среды и их влияние на структуру построения комплексной системы «гидроакустическое вооружение – надводный корабль» [Текст] / А. В. Дерепя // Озброєння та військова техніка. – 2015. – № 4 (8). – С. 15–21.
2. Дерепя, А. В. Две составляющие гидроакустического вооружения в комплексной системе «гидроакустическое вооружение – надводный корабль» / А. В. Дерепя [Текст] // Озброєння та військова техніка. – 2015. – № 1 (9). – С. 45–50.
3. Справочник по гидроакустике [Текст] / А. П. Евтюков, А. Е. Колесников [и др.]. – Л. : Судостроение, 1988. – 552 с.
4. Бурдик, В. С. Анализ гидроакустических систем [Текст] / В. С. Бурдик. – Л. : Судостроение, 1988. – 392 с.
5. Лейко, А. Г. О влиянии ультразвуковой кавитации в ограниченных объемах на импеданс преобразователей [Текст] / А. Г. Лейко, Ю. З. Шлимаченко // Акуст. вісник. – 1998. – Т. 1, № 1. – С. 52–57.
6. Кнэпп, Р. Кавитация [Текст] / Р. Кнэпп, Дж. Дейли, Ф. Хеммит. – М. : Наука, 1982. – 246 с.
7. Простаков, А. Л. Гидроакустика и корабль [Текст] / А. Л. Простаков. – Л. : Судостроение, 1967. – 129 с.
8. Дерепя, А. В. Об'єкти конструкцій гідроакустичних антен [Текст] / А. В. Дерепя, О. Г. Лейко // Системи обробки інформації. – Вип. 6 (104). – Харків : ХУПС, 2012. – С. 13–16.
9. Гулега, Л. Г. Активное гашение звука. Особенности технической реализации [Текст] / Л. Г. Гулега, Н. С. Лейко, А. Г. Лейко [и др.] // Актуальные аспекты физико-математических исследований. Акустика и волны. – К. : Наук. думка, 2007. – 343 с.
10. Лейко, А. Г. Подводные акустические антенны [Текст] / А. Г. Лейко, Ю. Е. Шамарин, В. П. Ткаченко. – К. : Аванпостприм, 2000. – 320 с.

Рецензент А. Г. Лейко, д-р техн. наук, проф.  
(Национальный технический университет «Киевский  
политехнический институт»)