

Современные методы и технологии акустических испытаний кораблей для измерения характеристик их подводного шума

Ю. Ф. Шлемов*

*Крыловский государственный научный центр
Россия, 196158, Санкт-Петербург,
Московское шоссе, д. 44*

(Статья поступила 10.07.2017; Подписана в печать 13.09.2017)

Во всех странах, осуществляющих строительство судов и подводных лодок (ПЛ), активно решаются вопросы качественного выполнения измерений и контроля подводного шума (ПШ) кораблей. Это необходимо для проверки соответствия ПШ судов экологическим требованиям, но главной задачей этих измерений является обеспечение акустической скрытности ПЛ. На основе анализа стандартов НАТО и данных о технологиях, применяемых при измерениях ПШ за рубежом, в статье даются рекомендации по совершенствованию отечественной системы измерения и контроля ПШ кораблей.

PACS: 43.30+т УДК: 534.6

Ключевые слова: корабль, подводный шум, система измерения, контроль.

ВВЕДЕНИЕ

Во всех странах, осуществляющих строительство судов, кораблей, и прежде всего подводных лодок (ПЛ), активно решаются вопросы измерения и контроля, изучаемого ими гидроакустического поля (ГАП). Измеряемыми величинами являются 1/3 октавные и узкополосные уровни ПШ, измеренные в зоне сформированного ГАП, что позволяет пересчитывать их на любую дистанцию и осуществлять: сравнение с требованиями к уровням ГАП, выполнять оценки «акустической загрязнённости» акватории, проверять соответствие экологическим требованиям, а главное — рассчитывать дальность обнаружения ПЛ гидроакустическими станциями, то есть оценивать и сравнивать их акустическую скрытность. В статье по материалам иностранной печати кратко анализируются принятые в странах НАТО методы и средства измерения подводного шума (ПШ) кораблей.

Анализ мирового опыта измерения характеристик подводного шума судов и подводных лодок, в том числе используемых при этом стандартов, методов и средств показывает [1–5].

Во-первых, в странах НАТО измерения уровней ПШ выполняются на дистанциях R не менее 100–200 м от судна, когда его гидроакустическое поле можно уверенно считать сформированным во всём контролируемом диапазоне частот 5–10⁴ Гц.

Во-вторых, основной целью измерений ПШ является либо контроль на соответствие требованиям, которые для судов обусловлены требованиями экологов, либо формируются для обеспечения эффективности работы собственных ГАС. Для ВМФ требования разрабатываются для обеспечения заданной дальности гидроакустического обнаружения корабля. Именно поэтому для

ПЛ требуется измерения уровней ПШ в плоскости, близкой к горизонту движения ПЛ, так как именно в направлении $\pm 13^\circ$ от этой плоскости дальность распространения акустических шумов ПЛ максимальна.

В-третьих, при измерениях ПШ необходимо оценивать направленность шумоизлучения корабля или как минимум определять наибольшие с учётом направленности в горизонтальной плоскости уровни шумоизлучения как в 1/3 октавных частотных полосах, так и на частотах дискретных составляющих спектра ПШ [1].

Только такой объём информации по измерениям характеристик сформированного ГАП корабля позволяет осуществлять проверку соответствия ПШ требованиям, выполнять оценки акустической скрытности морских объектов и разрабатывать предложения по её повышению.

В случае, если измерения ГАП, например, осуществляются в точках на дистанции $R \approx 50$ м под судном, то для протяжённых объектов ($L = 100 - 150$ м) это как минимум приводит к занижению уровней на 2–3 дБ по сравнению с измерениями при $R = 100 - 150$ м в области средних частот. Указанная ошибка будет отсутствовать только в том случае, если на судне в определённой области частот будет наблюдаться только один преобладающий источник, интенсивность которого выше остальных на 6 дБ и более (например, кавитирующий движитель). В области инфразвука (ниже 20 Гц), где ПШ обусловлен колебаниями корпуса, возбуждаемого движителем, на дистанции 50 м ГАП такого источника не может быть сформировано в принципе, а кроме этого в сигнале, фиксируемом гидрофоном, присутствует помимо акустической компоненты $\sim 1/R$ и гидродинамическая составляющая $\sim 1/R^2$.

Таким образом, как с точки зрения соответствия мировым стандартам, так и с точки зрения понимания «физики излучения подводного шума» кораблём, измерения уровней ПШ протяжённых морских объектов должны выполняться в плоскости, близкой к горизонтальной и на дистанции $\sim 100 - 200$ м.

*E-mail: krylov6@krylov.spb.ru

В странах НАТО классическая схема измерительного полигона для контроля ПШ судов и ПЛ представляет собой две вертикальные линейки гидрофонов, установленных в полигоне глубиной 150–500 м, на расстоянии 200–300 м друг от друга. Измерительный галс судно выполняет, проходя посередине между вертикальными цепочками гидрофонов.

Всего в мире эксплуатируется для ВМФ и гражданских судов ~ 25 стационарных гидроакустических полигонов. Большинство из них относятся к системе FORACS [4], оборудованы только двумя цепочками гидрофонов и предназначены, в основном, для контрольных испытаний. Однако в странах НАТО существует 5–6 центров подводных испытаний (Underwater Test Center), которые имеют существенно лучшее оборудование и возможности. К их числу относятся американский атлантический центр AUTEC, британский – BUTEC, полигон в районе Аляски – SEAFAC, а также французский полигон на мысе Cap Ferrat в Средиземном море [4]. Указанные полигоны оборудованы средствами для проведения стоповых измерений, выявления источников ПШ, в том числе с использованием методов ближнеполевой акустической географии [5].

Основным условием выполнения измерения уровней ПШ является превышение в точке измерения полезного сигнала над фоновыми шумами минимум на 6 дБ. В настоящий момент для надводных кораблей и судов такое соотношение при $R = 100 - 150$ м обеспечивается при использовании одиночных гидрофонов практически на всех скоростях хода [3].

Для ПЛ, особенно дизель-электрических требуется использование направленных систем и алгоритмов помехоподавления типа энергетической согласованной обработки (ЭСО), позволяющей повысить помехоподавление в диапазоне частот 30 – 10000 Гц на 7–10 дБ в зависимости от характеристик нестационарности фоновых шумов.

В качестве направленных систем на полигонах НАТО применяются аддитивные вертикальные [4] линейные антенны (длиной до 100 м). С использованием алгоритма фокусировки антенны в точку на траектории движения ПЛ в зависимости от числа гидрофонов, используемых в антенне, удаётся повысить помехоподавление на 10–15 дБ при изотропной помехе. Дополнительный выигрыш ~ 5 – 10 дБ в соотношении сигнал/помеха «появляется» за счёт анизотропии фоновых шумов при преобладающем влиянии поверхностного шума в диапазоне частот ~ 100 – 1000 Гц.

На частотах выше 4000–5000 Гц измерительная вертикальная антенна из одиночных гидрофонов не может быть создана физически, так как оптимальное расстояние между гидрофонами в антенне, равное половине длины волны, составляет на высоких частотах несколько сантиметров. На полигонах НАТО для измерения ПШ в диапазоне частот 3000–10000 Гц используются протяжённые ~ 1 м цилиндрические вертикальные гидрофоны, обладающие направленностью в вертикальной плоскости. С использованием направ-

ленных вертикальных антенн в странах НАТО удаётся решить проблему измерения ПШ ПЛ на дистанциях 100–150 м в диапазоне частот 40–10⁴ Гц. Особо необходимо отметить необходимость борьбы с шумами обтекания вертикальных измерительных антенн, для чего их устанавливают в специальных звукопрозрачных обтекателях, а при выборе местоположения гидроакустического полигона всегда стремятся обеспечить минимальные скорости подводных течений, обуславливающих как широкополосные шумы обтекания гидрофонов, так и появление шумовых подъёмов на низких частотах в области Струхалевых частот на обтекании антенн.

Проблема шумов обтекания приёмных устройств легко устраняется при использовании радиогидроакустического буя (РГАБ), оснащённого вертикальной антенной и передающего информацию по радиоканалу. Такие измерительные системы дешевы по сравнению со стационарными полигонами, а главное – могут быть использованы в любом районе океана. Поэтому такие страны как Индия, Италия, Греция, а также страны, у которых вблизи берега отсутствует возможность для создания стационарного полигона с глубиной места более 200 м, широко используют мобильные гидроакустические полигоны на базе измерительных РГАБ. Помимо малой стоимости преимущества данных систем обеспечивается, возможностью их использования с любого носителя и непосредственно в районе плавания судна (корабля), то есть без затрат на его переход в район полигона. Поэтому системы на базе РГАБ «популярны» для измерения ПШ надводных кораблей и коммерческих судов, а также добывающих платформ.

Одной из важнейших проблем, которые необходимо решать при измерениях ПШ судна, является измерение дистанции R между судном и гидрофоном. Известны импульсные и тональные системы измерения дистанции (СИД). Их общим недостатком является использование акустического излучателя, устанавливаемого на контролируемый объект, работа которого неминуемо приводит к искажению полезного сигнала. Поэтому на полигонах НАТО [4] стараются повысить рабочие частоты СИД до 15–20 кГц и «убрать» их из области частот контролируемой по ПШ.

Современные СИД, используемые на полигонах, позволяют обеспечить измерение R с погрешностью ~ 1 – 1.5 м, что практически исключает вклад данной составляющей в суммарную погрешность измерений уровней ПШ при дистанции измерения $R = 100 - 150$ м.

Обеспечение высокой точности измерений уровней ПШ кораблей является базовым требованием стандарта НАТО [1]. Основной составляющей систематической погрешности измерений ПШ в настоящее время является аппаратная погрешность, большая часть которой обусловлена погрешностью градуировки гидрофонов. В упоминавшемся стандарте НАТО [1] предписывается, что погрешность градуировки гидрофонов не должна превышать ±1 дБ. К сожалению, в нашей стране пока не удаётся обеспечить такой точности

калибровки гидрофонов, которая по оценкам ФГУП «ВНИИФТРИ» составляет в данный момент ± 2 дБ. Эффективным способом снижения данной составляющей погрешности, используемым в частности фирмой «Брюль и Кьер» для калибровки «особо ответственных изделий», является «рандомизация» погрешности калибровки гидрофонов. Для этого гидрофон калибруется двумя принципиально различными способами и на различных установках, как правило, находящихся в разных странах (в США и в Дании). Одним из способов является метод взаимности, а другим – помещение гидрофона в эталон самого высокого разряда. В результате «рандомизации» погрешность градуировки может быть снижена в $\sqrt{2}$ раз при условии равенства погрешности используемых двух способов градуировки. Существенным резервом повышения точности измерений уровней подводного шума является исключение составляющей, связанной с влиянием помех, применение цифровых гидрофонов, что практически исключает аппаратную погрешность, связанную с трактом передачи сигнала от гидрофона до анализирующей аппаратуры. Одним из эффективных спосо-

бов снижения методической погрешности, обусловленной отражением от свободной поверхности, является увеличение глубины погружения ПЛ при измерениях до 200 м.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В кратком анализе рассмотрены основные принципы измерения характеристик подводного шума кораблей, используемые на полигонах НАТО. Задачей отечественных специалистов является грамотно адаптировать указанные принципы к отечественной системе измерения и контроля ГАП кораблей. Это, прежде всего, касается проведения измерений уровней ПШ на дистанциях не менее 100 м и в плоскости, близкой к горизонту ПЛ, использования вертикальных направленных измерительных антенн, измерения характеристик направленности шумоизлучения и применения для оперативного контроля ПШ систем на основе радиогидроакустических буев.

-
- [1] Standards for use when measuring and reporting radiated noise characteristics of ships, submarines, etc in relation to sonar detection and torpedo acquisition risky. STANAG №1136, NATO stand. Agreement, MAS, 2000.
- [2] American National Standard Quantities and Procedures for Description and Measurement of Underwater Sound from Ships. ANSI, ASA S12.64, 2009.
- [3] Underwater Noise of Research Vessels Review and Recommendations. Cooperative Report, Copenhagen, ICES

- № 209, 1995.
- [4] *Jean-Alain R.* Measurement of ships underwater radiated noise on ranges. UDT Pacific-98, Sydney Convention Center, 1998.
- [5] *Williams Earl. G.* Fourier Acoustics – Sound Radiation and Nearfield Acoustic Holography. Academic Press, CityplaceLondon, 1999.

Modern technologies and methods for measuring ship's underwater radiated noise characteristics

Yu. F. Shlemov

*Krylov State Research Centre. St. Petersburg 196158, Russia
E-mail: ^akrylov6@krylov.spb.ru*

All countries building ships, in particular submarines, have to persistently address the issues related to measurement and control of ships radiated underwater noise (UN). It is required to meet the environmental (ecological) regulations, but the primary consideration is of course the acoustic stealth of submarines. Analyzing the NATO standards and description of ships UN measurement technologies on ranges in this paper is given a recommendation to improve the Russian standards for use when ships UN measuring and reporting.

PACS: 43.30+m

Keywords: ship, underwater noise, measurement system, control.

Received 10 July 2017.

Сведения об авторе

Шлемов Юрий Фёдорович — канд. техн. наук, ст. науч.сотрудник, зам. начальника отделения – нач. лаборатории; тел.: (812) 415-48-01, e-mail: krylov6@krylov.spb.ru.