

ХАРАКТЕРИСТИКИ СОБСТВЕННОГО ШУМОИЗЛУЧЕНИЯ МАЛОГАБАРИТНОГО АНПА

Ю.А. Хворостов, Ю.В. Матвиенко

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем морских технологий ДВО РАН¹

Представлены результаты экспериментальных исследований уровня собственного шума АНПА «ММТ-3000» в частотном диапазоне от 5 до 2000 Гц, формирующегося на корпусе аппарата при различных режимах и условиях движения. Установлено, что собственное шумовое поле на корпусе аппарата при его движении характеризуется очень высокими значениями спектральных уровней, что существенно затрудняет прием сигналов, близких по уровню к естественным динамическим шумам моря, а в режиме планирования не вносит заметных добавок в естественные динамические шумы штилевого моря.

При оборудовании АНПА гидроакустическими системами для оценки эффективности их работы в приемном режиме необходимы оценки уровней и спектрального состава помехи в соответствующих частотных диапазонах. На движущихся АНПА помехой будет величина собственного шумоизлучения аппарата в точках размещения чувствительных элементов систем.

Необходимо отметить, что характеристики собственного шума у корпуса аппарата относятся к ближней зоне формирующегося акустического шумового поля. Структура поля сложна, поскольку шумоизлучение АНПА обусловлено рядом разнесенных в пространстве и взаимодействующих между собой источников: несколько винтов с различными и изменяющимися скоростями вращения; область водной среды, где сходятся турбулентные струи от винтов; вибрирующие части корпуса; зоны турбулентности при гидродинамическом обтекании корпуса и пр. Поэтому акустическое поле вблизи корпуса АНПА будет содержать помимо активной составляющей энергии и значительную реактивную составляющую, не участвующую в формировании бегущей акустической волны от аппарата. При этом уровень звукового давления собственного шумоизлучения у корпуса АНПА может достигать больших значений.

Основной вклад в шум АНПА вносит кавитационный шум винтов аппарата, вращающихся с большой скоростью. Это широкополосный шум в некоторой области частот и с частотой максимального излучения, зависящей от скорости вращения валов

электродвигателей аппарата. Величина уровня шума модулируется частотами вращения лопастей винтов (частоты вращения валов двигателей, умноженные на число лопастей), создавая так называемый лопастной частотный ряд. Вальные частоты двигателей в шумоизлучении АНПА не выражены явно в связи с хорошей динамической балансировкой валов с винтами.

Другой весомой причиной шума движущегося АНПА является обтекание водой его корпуса. При этом турбулентными потоками воды создается гидродинамический широкополосный акустический шум и возбуждаются резонансные колебания корпуса аппарата, добавляющие в шум АНПА дополнительные дискретные составляющие.

Для оценки характеристик акустического шумового поля, создаваемого АНПА «ММТ-3000» [1] в движении у своего корпуса, был проведен ряд экспериментальных исследований. В экспериментах в середине днища аппарата в 150 мм от его корпуса для регистрации звукового давления шумового поля устанавливалось автономное гидрофонное приемное устройство с нормированным рабочим диапазоном частот 5–2000 Гц, чувствительностью гидрофона 160 мкВ/Па, коэффициентом усиления аналогового тракта 50 и оцифровкой сигнала 16-разрядным АЦП $\pm 2,5\text{В}$ [2]. На рис. 1 приведен вид аппарата с измерительным устройством.

¹ 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, 5а. Тел./факс.: +7 (423) 243-24-16. E-mail: imtp@marine.febras.ru, ymat@marine.febras.ru



Рис. 1. АНПА «ММТ-3000» с автономным гидрофонным устройством

АНПА в экспериментах выполнял заданные подводные маневрирования. В первом эксперименте на акватории Уссурийского залива с глубиной места 42 м при низком уровне помех из-за штилевой погоды и отсутствия ближнего судоходства была отработана методика регистрации и оценки шумоизлучения подводного аппарата в движении на штатной максимальной скорости. Аппарат в 2 м от дна на скорости движения 2 м/с совершал три прохода (рис. 2), состоящих из прямолинейных галсов. В конце каждого прохода АНПА всплывал на поверхность за счет положительной плавучести без работы своих трех трехлопастных электродвигателей. В процессе выполнения заданной миссии АНПА при постоянно работающих эхолоте и доплеровском лаге попеременно включал и выключал свои навигационную систему и ряд поисковых систем (два типа гидролокаторов бокового обзора и профилограф).

Для всех трех проходов АНПА (первые два состоят из двух разнокурсных галсов, а третий из одного) на рис. 3 представлены временная развертка величин отсчетов АЦП автономного гидрофонного приемного устройства, закрепленного на аппарате, и

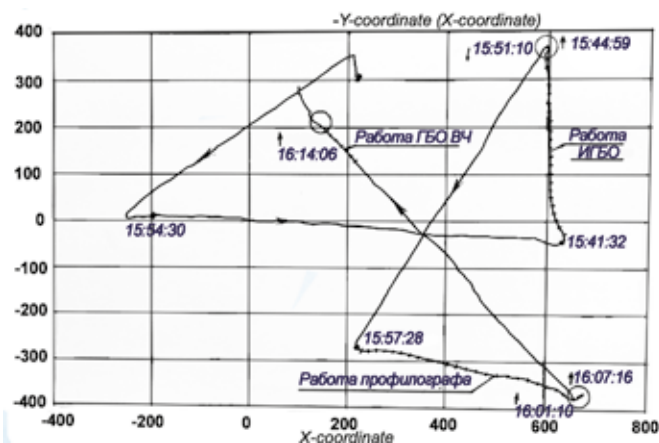


Рис. 2. Схема трех проходов АНПА «ММТ-3000» на скорости 2 м/с (интервалы времени проходов: 15:34:30+15:44:59; 15:51:10+16:01:10; 16:07:16+16:14:06)

сонограммы (спектрограммы) принятых сигналов в двух частотных диапазонах.

На временной развертке сигналов гидрофона при втором проходе в виде коротких импульсов видна работа профилографа АНПА даже на ходу аппарата. На высокочастотной сонограмме влияние этих импульсов на спектр сигнала сказывается наличием вертикальных частотных полос. Такие же полосы на других проходах, но более слабые, обусловлены функционированием навигационной системы АНПА. Однако эти системы из-за малой длительности излучаемых сигналов не оказывают существенного влияния на осредненный спектр шума АНПА в низкочастотной области.

По сигналам шумоизлучения АНПА на сонограммах рис. 3 хорошо видно, что для поддержания заданных курса и глубины движения аппарат постоянно корректирует обороты каждого из трех своих двигателей. В этой связи АНПА на ходу не является источником стабильных во времени тональных (дискретных) составляющих шума, а генерирует шум в некоторой области частот.

Аналогичные измерения шумности АНПА «ММТ-3000» на скоростях движения 1,7 и 1,2 м/с были проведены на акватории бухты Патрокл при отключенных навигационной и поисковых системах аппарата, но при наличии ближнего судоходства.

На рис. 4–6 показаны вычисленные по экспериментальным данным спектры звукового давления шумоизлучения АНПА «ММТ-3000», формирующиеся на его корпусе при скоростях прямолинейного движения аппарата 2; 1,7 и 1,2 м/с.

Все приведенные спектры на рисунках получены и с использованием быстрого преобразования Фурье с частотным разрешением 0,977 Гц, окном Ханнинга и осреднением по 20 спектрам. Черные кривые на рисунках – спектр действующей помехи при измерениях сигнала, записанного при медленном всплытии АНПА и неработающих двигателях.

Из спектров, представленных на рис. 4–6, для зарегистрированного собственного шумоизлучения АНПА «ММТ-3000» у его корпуса в исследуемом диапазоне частот 5–2000 Гц следует:

- спектр шума АНПА на его корпусе во всем диапазоне частот имеет мощную сплошную часть, величина уровня которой спадает на 4–5 и 9–10 дБ со снижением скорости движения аппарата от 2 до 1,7 м/с и 1,2 м/с, соответственно;
- спектр шума АНПА на его корпусе имеет частотные области с повышенной величиной спектральных уровней над таковыми сплошной части спектра (на спектрах «центральные частоты» областей помечены маркерами);

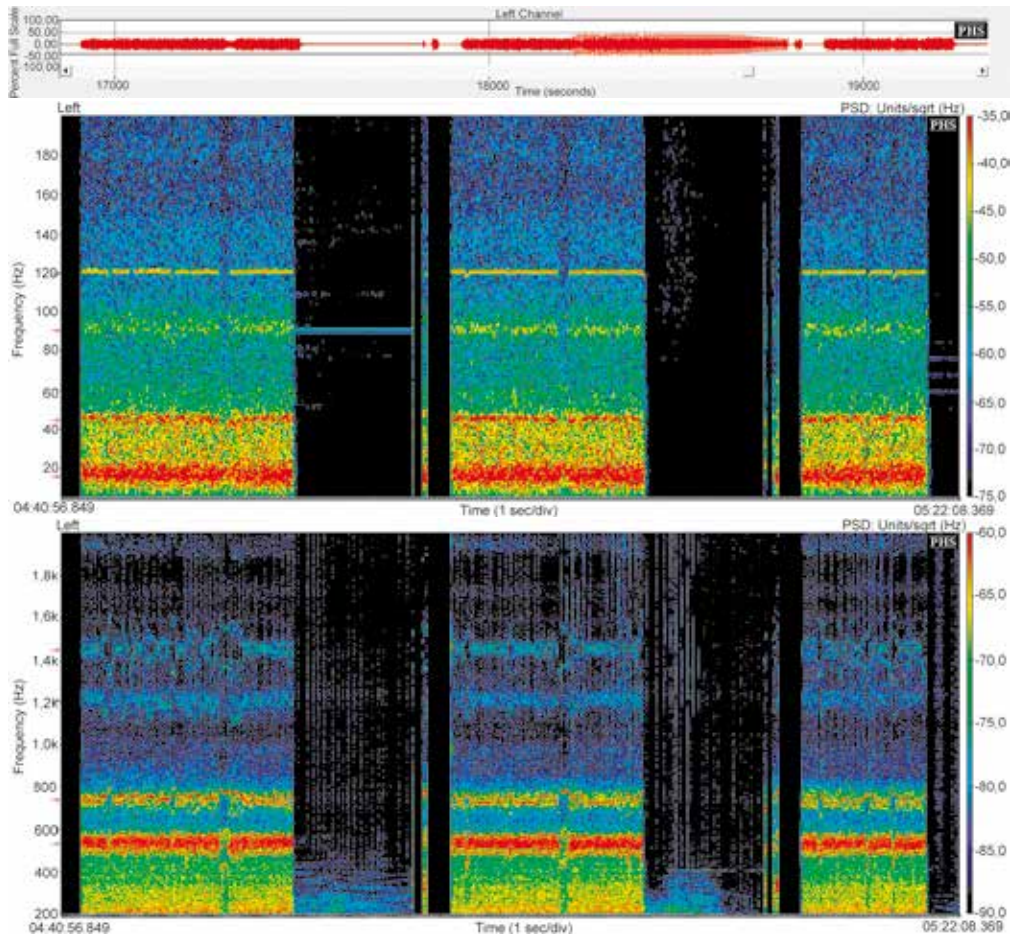


Рис. 3. Временная развертка сигнала гидрофона трех проходов АНПА «ММТ-3000» на скорости 2 м/с и соответствующие развертке сонограммы без осреднения низкочастотной и высокочастотной частей сигнала

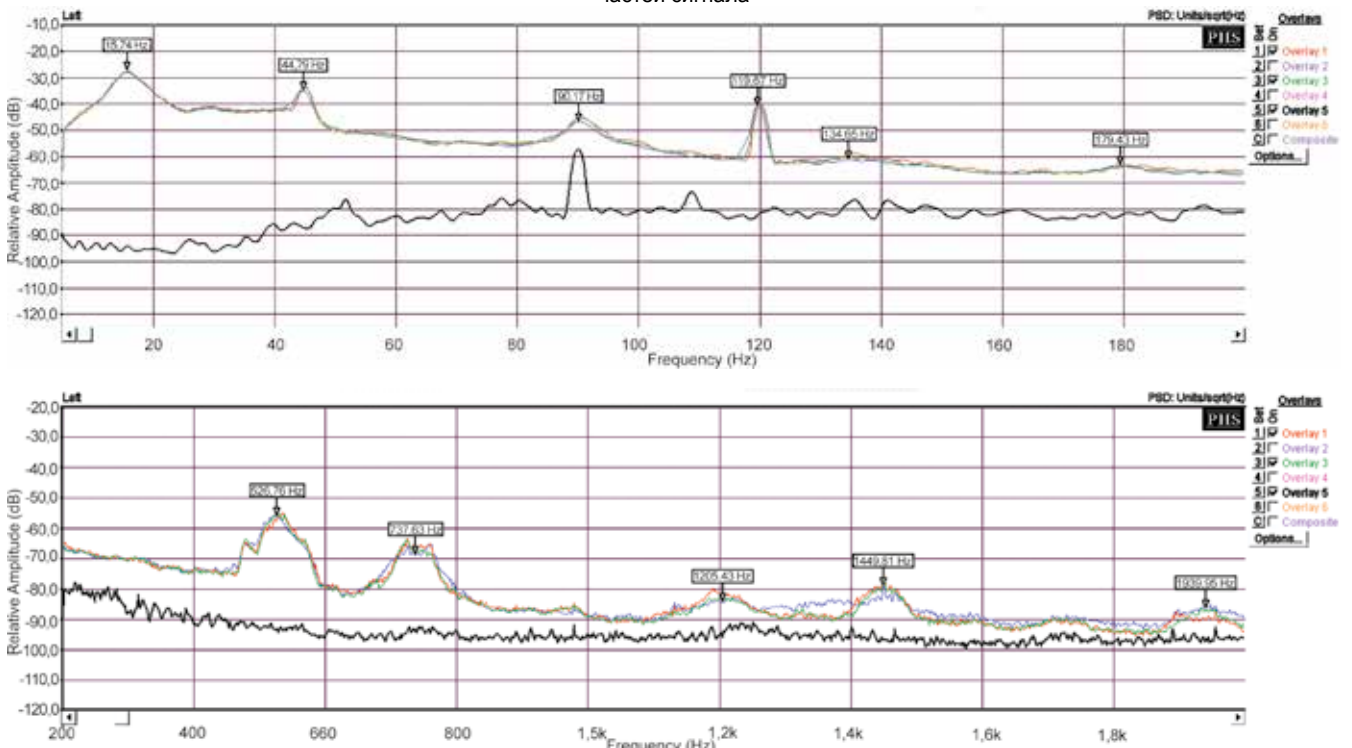


Рис. 4. Спектры звукового давления у корпуса АНПА «ММТ-3000» трех галсов (красная, зеленая и синяя кривые) на скорости 2 м/с в частотных диапазонах 5–200 и 200–2000 Гц

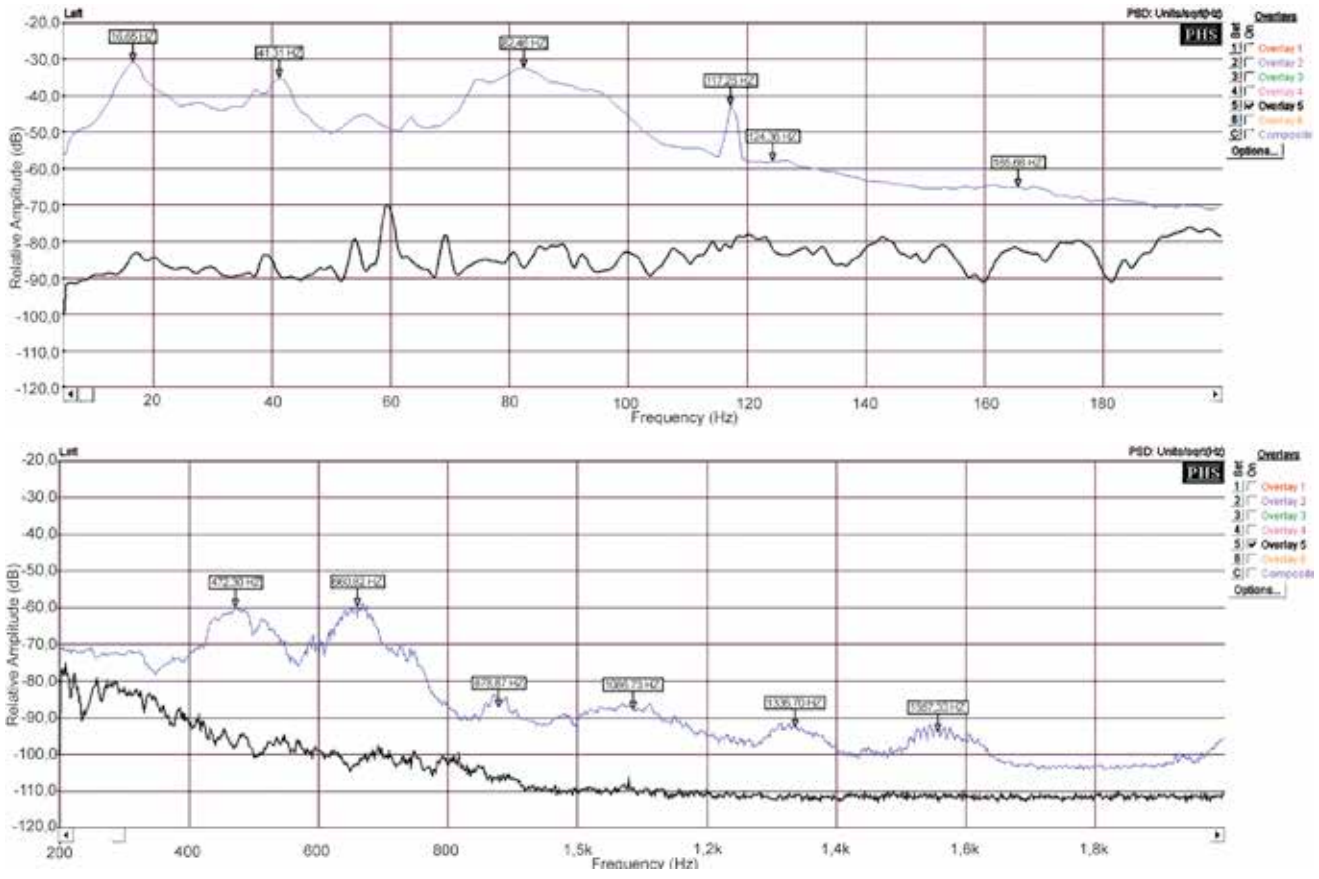


Рис. 5. Спектр звукового давления у корпуса АНПА «ММТ-3000» (синяя кривая) на скорости 1,7 м/с в частотных диапазонах 5–200 и 200–2000 Гц

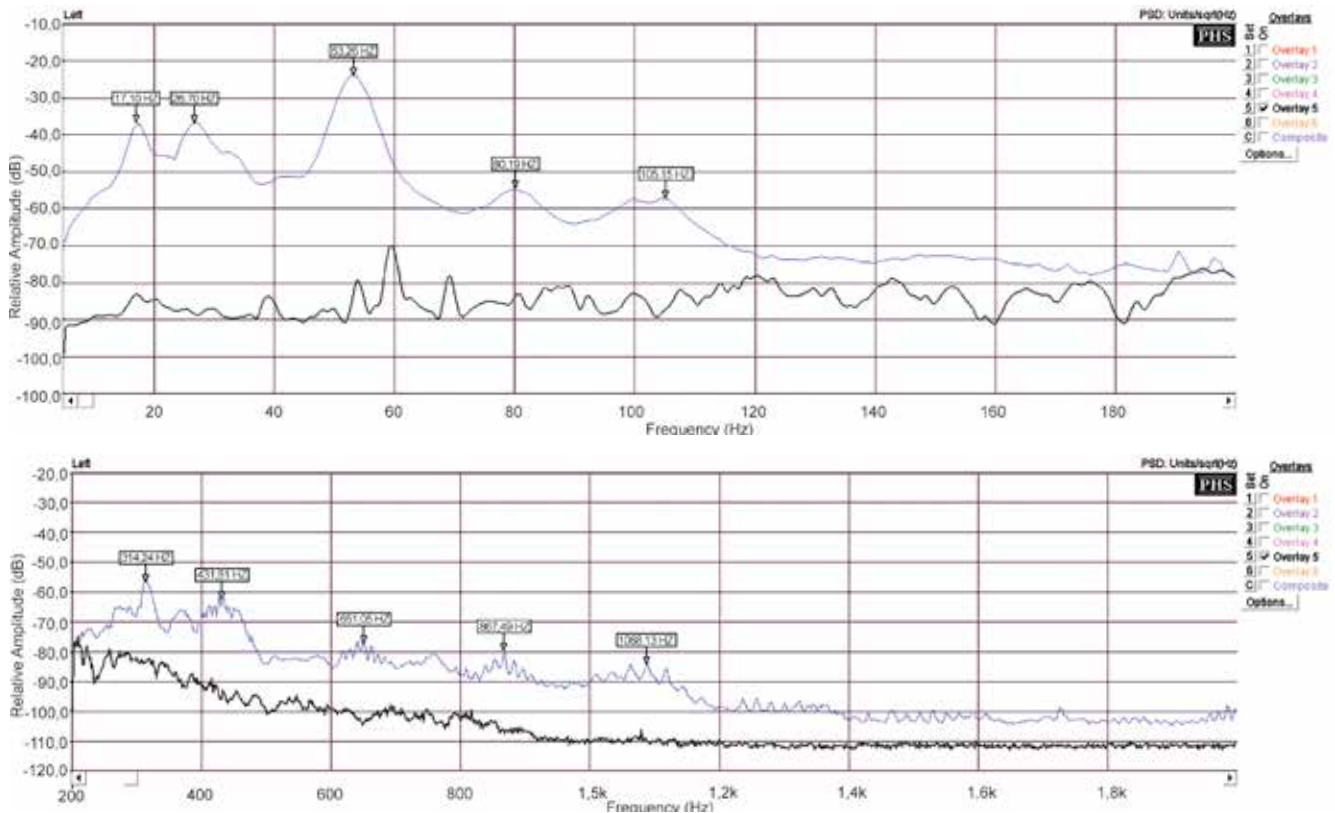


Рис. 6. Спектр звукового давления у корпуса АНПА «ММТ-3000» (синяя кривая) на скорости 1,2 м/с в частотных диапазонах 5–200 и 200–2000 Гц

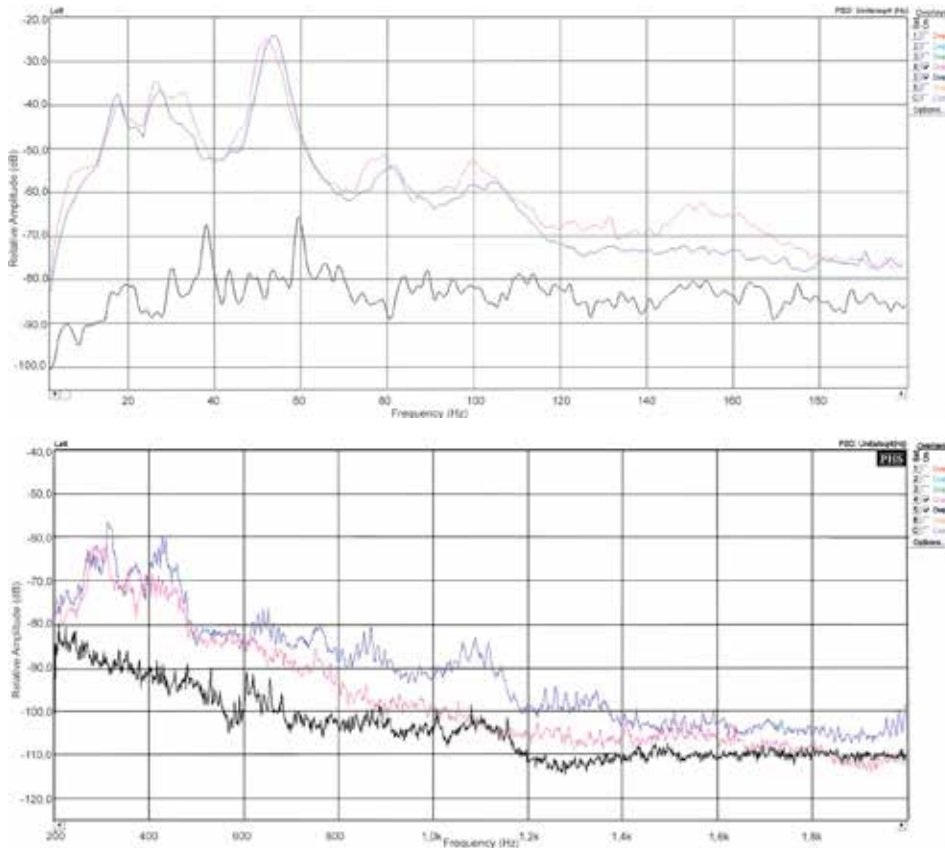


Рис. 7. Спектры звукового давления у корпуса АНПА «ММТ-3000» на скорости движения 1,2 м/с в частотных диапазонах 5–200 и 200–2000 Гц (красная кривая – прямолинейный галс АНПА в 4 м под поверхностью, синяя кривая – прямолинейный галс АНПА в 4 м над дном)

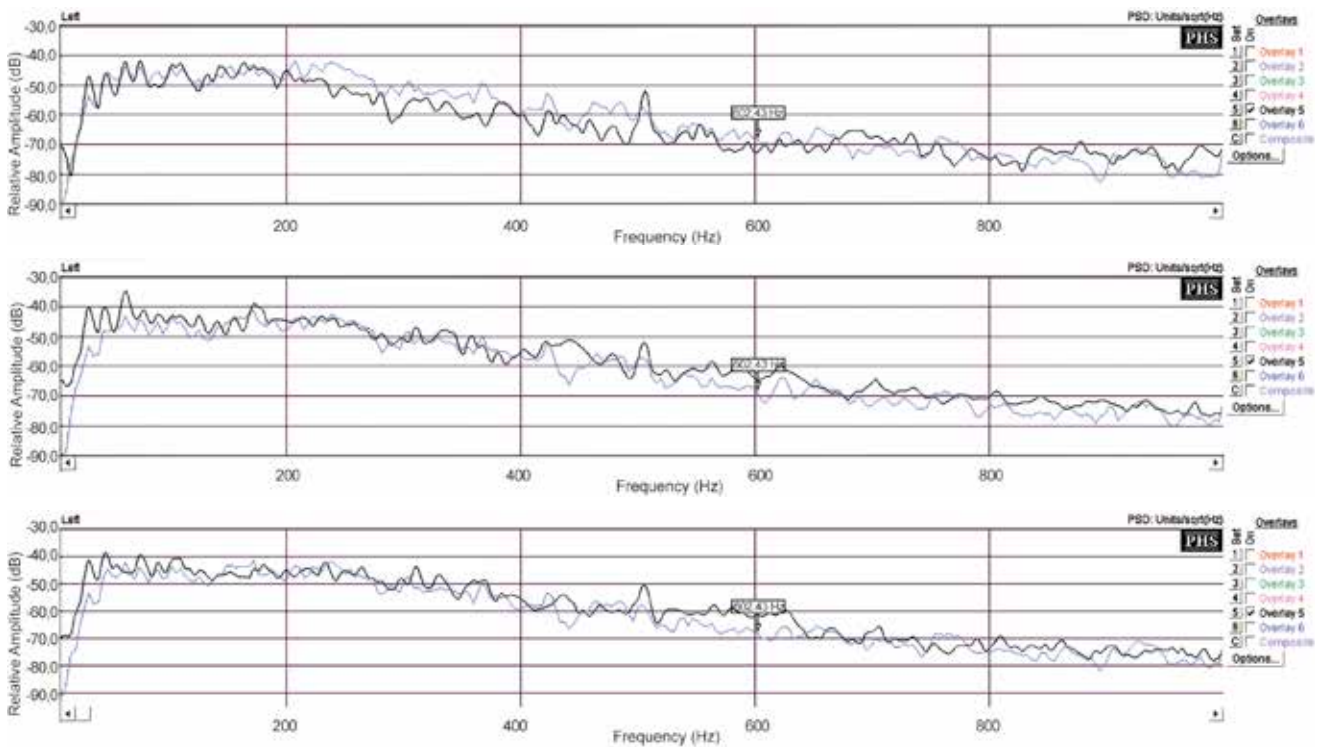


Рис. 8. Спектральные характеристики звукового давления на скорости движения 0 м/с в частотном диапазоне 5–1000 Гц. Синяя кривая – шум на корпусе АНПА, коричневые кривые – шум в точках акватории, удаленных от АНПА на дистанцию 210 м, 560 и 750 м соответственно

- на всех скоростях движения АНПА спектры шума содержат частотные области в районе 16 Гц. Причем «центральные частоты» этих областей несколько увеличиваются со снижением скорости движения аппарата. Очевидно, что источником шумоизлучения для этих областей является резонансная низкодобротная вибрация корпуса АНПА, частота которой увеличивается с уменьшением присоединенной к корпусу массы воды на более низкой скорости движения аппарата;

- при скорости движения АНПА 2 и 1,7 м/с спектр шума имеет узкую область вблизи 118 Гц, которая отсутствует при скорости 1,2 м/с. Идентификация источника сигналов в этой области затруднительна;

- неупомянутые выше частотные области, помеченные маркерами на спектрах диапазона 5–200 Гц, составляют кратный звуковой ряд относительно самой низкой из них. Для скорости движения АНПА 2 м/с это область с «центральной частотой» 44,79 Гц, 1,7 м/с – 41,31 Гц, 1,2 м/с – 26,70 Гц. «Центральные частоты» этих областей хорошо коррелируют с лопастными частотами двигателей АНПА при скоростях вращения их валов 896, 826 и 534 об/мин соответственно, требуемых для достижения АНПА упомянутых скоростей движения.

Следует отметить, что при изменении места измерения шумоизлучения на корпусе АНПА ход и уровень в полученных спектральных кривых могут несколько отличаться от представленных на рис. 4–6. Такого рода различия будут и при существенных изменениях условий измерения, например близости аппарата к отражающим границам (поверхности и дну). Последнее иллюстрируется рис. 7, где приведены спектры шумов АНПА при его движении у поверхности и у дна. На частотах выше 600 Гц наблюдается эффект снижения уровня шума из-за экранировки гидрофона корпусом АНПА от отражений от поверхности, так как отсутствует интерференционная

составляющая модуляции амплитуды частотных дискрет шума при нахождении гидрофона между корпусом и дном.

Значительные уровни шумовой помехи на корпусе АНПА при его движении очевидно могут стать серьезным препятствием работе высокочувствительных приемных систем, например дальней навигации и связи. С целью оценки перспектив размещения таких устройств на борту АНПА дополнительно были выполнены измерения шумоизлучения при отсутствии движения в режиме свободного планирования.

На рис. 8 приведены спектральные характеристики звукового давления на корпусе аппарата при скорости движения 0 м/с в частотном диапазоне 5–1000 Гц в сравнении с измеренными синхронно аналогичными характеристиками в других точках акватории.

Можно заметить, что структура шумового поля в различных точках акватории, включая точку с размещенным АНПА при неработающей системе движения, практически идентична.

ВЫВОДЫ

1. Собственное шумовое поле на корпусе АНПА «ММТ-3000» при его движении характеризуется очень высокими значениями спектральных уровней, что существенно затрудняет прием сигналов, близких по уровню к естественным динамическим шумам моря.

2. Собственное шумовое поле на корпусе АНПА «ММТ-3000» в режиме планирования не вносит заметных добавок в естественные динамические шумы штилевого моря.

В заключение авторы выражают благодарность сотрудникам ТОИ ДВО РАН за предоставленную возможность применить их аппаратуру для проведенного исследования, а сотрудникам ИПМТ ДВО РАН – за подготовку и выполнение работ с использованием АНПА.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горнак В.Е., Инзарцев А.В., Львов О.Ю., Матвиенко Ю.В., Щербатюк А.Ф. ММТ-3000 – новый малогабаритный автономный необитаемый подводный аппарат ИПМТ ДВО РАН // Подводные исследования и робототехника. 2007. № 1 (3). С. 12–20.
2. Тагильцев А.А., Безответных В.В., Моргунов Ю.Н., Стробыкин Д.С. Экспериментальное тестирование распределенной вертикальной автономной приемной системы // Подводные исследования и робототехника. 2019. № 2 (28). С. 47–53.