

Сахаров Вадим Леонидович – e-mail: vadim@ritm.tsure.ru; зам. директора по научной работе.

Савицкий Олег Анатольевич – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: main@ritm.tsure.ru; 347900, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; кафедра высшей математики; доцент.

Nagutchev Daulet Shabanovitch – Special Design Office “Ritm” – Southern Federal University; e-mail: main@ritm.tsure.ru; 99, Petrovskaya street, Taganrog, 347928, Russia; advisor.

Sakharov Vadim Leonidovitch – e-mail: vadim@ritm.tsure.ru; vice-director in science.

Savitskiy Oleg Anatolievitch – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: main@ritm.tsure.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, build. D; tht department of higher mathematics; associate professor.

УДК 656.61.087: 623.82

А.А. Илларионов, С.В. Козловский, В.П. Чернов

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА БИСТАТИЧЕСКОЙ СИЛЫ ЦЕЛИ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ЗОНДИРУЮЩИХ СИГНАЛОВ

Приводятся результаты экспериментальных исследований бистатической силы модели типовой подводной цели, представляемой в виде многоэлементного объекта, в условиях гидроакустического бассейна для различных видов зондирующих сигналов и когерентной обработки информации. Подробно описаны схема экспериментальных исследований, общий вид бассейна, схема электронных измерений. Показано, что суммарный эквивалентный радиус цели по сравнению с моностатическим режимом уменьшается до 6 дБ при увеличении бистатического угла до 90 град., а проекция эхо-портрета на продольную ось цели сжимается и при бистатическом угле 90 град. уменьшается вдвое по сравнению с проекцией для моностатического режима при аналогичных углах облучения.

Бистатическая гидролокация; бистатическая сила цели; эксперименты.

A.A. Illarionov, S.V. Kozlovski, V.P. Chernov

EXPERIMENTAL EVALUATION OF BISTATIC TARGET STRENGTH OF A COMPLEX OBJECT AT DIFFERENT TYPES OF PROBING SIGNALS

Experimental results of bistatic forces model of a typical underwater objectives, presented in the form of the multielement object, in the conditions of hydroacoustic basin for various kinds of probing signals and coherent data processing. Are described in detail scheme of the experimental study, the overall view of the swimming pool, the scheme of electronic measurements. It is shown that the sum of the equivalent radius of the objectives in comparison with the monostatic regime is reduced to 6 dB at increasing the bistatic angle of up to 90 deg., and the projection of echo-portrait in a longitudinal axis objective is compressed and when bistatic angle of 90 degrees is reduced by half compared with the projection for monostatic regime at similar angles of radiation.

Bistatic sonar; bistatic target strength; experiments.

В последние годы при решении задач поиска подводных объектов различного типа, экологического мониторинга моря серьезное внимание уделяется методам бистатической (мультистатической) гидролокации [1–3]. Вместе с тем, для выполнения прогнозных оценок эффективности данного метода в различных условиях

наблюдения отсутствуют необходимые исходные данные. В частности, не в полной мере изучены характеристики бистатической реверберации и бистатической силы цели.

Для оценки характеристик вторичного поля сложных отражателей при тональных зондирующих сигналах широко используются расчетные методы (например, [4]). Однако, при сложных сигналах применение расчетных методов затруднительно, что обуславливает необходимость использования экспериментальных методов. При этом, целесообразно использовать подход, изложенный в [5], основанный на представлении сложного объекта локации как многоэлементного отражателя, эхо-сигнал от которого описывается импульсной характеристикой, учитывающей амплитуды (эквивалентные радиусы) отдельных «бликов» и задержки прихода обусловленных ими элементарных импульсов относительно момента прихода сигнала от 1-го отражателя.

Обобщенная схема экспериментальных исследований приведена на рис. 1.

Эксперименты выполнялись в бассейне на гидроакустическом моделирующем комплексе, в состав которого вошли: электрическая излучающая и приемная система, акустические направленные антенны, лабораторный бассейн с координатными устройствами, системой автоматики и управления, цифровая и аналоговая аппаратура регистрации эхо-сигналов.

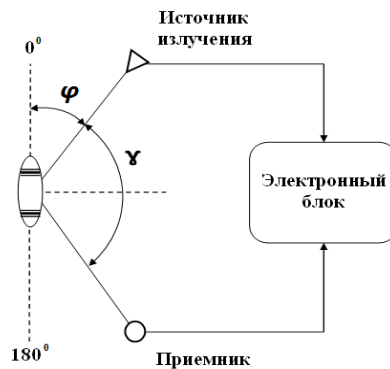


Рис. 1. Обобщенная схема эксперимента

При этом, использовались следующие теоретические положения:

принцип подобия и размерностей, предложенный акад. А.Н. Крыловым, методики определения отражательных способностей и оценки импульсной и частотной характеристики подводных целей, разработанные в НИЦ РЭВ и ФИР ВМФ. Экспериментальные исследования проводились под руководством и при непосредственном участии В.П. Чернова.

Лабораторный бассейн имеет размеры 6x1,5x2 м. Общий вид бассейна с координатными устройствами показан на рис. 2. Для уменьшения отражений от стенок бассейн заглушен акустическим покрытием "Августит", благодаря чему помехи в виде мешающих отражений были сведены к минимуму. В состав стенда входит комплект из 13 пьезоакустических преобразователей с рабочими частотами от 200 Гц до 1500 кГц, и с разной остротой характеристики направленности. Для крепления преобразователей предусмотрены подъемно-поворотные устройства, которые позволяют плавно менять их заглубление, углы наклона в вертикальной плоскости и производить поворот в плоскости горизонта.



Рис. 2. Общий вид бассейна

Подъемно-поворотные устройства смонтированы на подвижной платформе, перемещающейся вдоль и поперёк бассейна. Все координатные устройства имеют автономный электрический привод и управляются с пульта. Предусмотрено изменение скоростей и направлений перемещения платформы с преобразователями, а также платформы с акустическим щупом, с помощью которого осуществляется контроль акустического поля в месте расположения моделей. Электронная система измерения стенда гидролокационного моделирования включала блоки формирования излучения и приема сигналов, их регистрации на самописец и ввод в ПЭВМ (рис. 3).

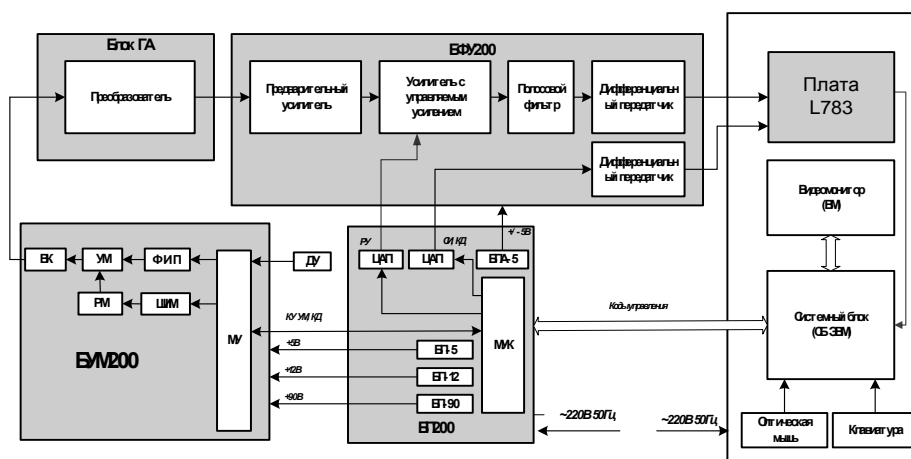


Рис. 3. Электронная система измерения

Система работает следующим образом. Код импульса излучения поступает с ПЭВМ через БП на БУМ прибора излучения и приема. Блок усилителя мощности формирует импульс послылки с частотой заполнения 198 ± 2 кГц, длительностью от 0,02 до 1 мс, периодом следования до 200 мс. Сформированный импульс послылки усиливается до заданного регулятором уровня амплитуды (25 %, 50 %, 75 %, 100 %) излучаемого сигнала и через выходной каскад, поступает на гидроакустический преобразователь. Регулировка усилением БУМ осуществляется кодами, поступающими с ПЭВМ.

Принятые гидроакустическим преобразователем отраженные от объекта эхосигналы поступают на вход БФУ, где усиливаются до заданной величины, фильтруются в полосе 10 кГц и передаются в модуль аналого-цифрового преобразования платы L-783. Регулировка усилением БФУ осуществляется кодами, поступающими с ПЭВМ, в диапазоне от минус 40 до плюс 40 дБ. В модуле платы L-783 аналоговый сигнал поступает на 12-и разрядный АЦП.

Выходной цифровой поток данных АЦП поступает на контроллер данных, который направляет его на коммуникационные порты модуля ПОС. В модуле ПОС обработка данных АЦП происходит в процессоре ПЭВМ, который выполняет программу, реализующую временное стробирование (временное окно) подлежащей обработке информации, определение максимального значения модуля амплитуды сигнала в окне, запоминание массива максимальных значений за каждый цикл излучения и нормировку этих значений на величину амплитуды отраженного сигнала от эталонного отражателя с известной величиной отражательной способности.

По массиву значений отражательной способности производится построение диаграммы изменения уровня отражательной способности объекта в интервале текущего времени измерений, однозначно связанного с текущими значениями углового ракурса облучения объекта, поступающими с датчика угла (ДУ) позиционного устройства стенда гидролокационного моделирования.

На центральном процессоре ПЭВМ в среде операционной системы «Windows-XP» выполняется программа, осуществляющая отображение на экране дисплея окна панели управления системы и диаграмм отражения объектов, получаемых из модуля ПОС. Программа обеспечивает одновременное отображение реализаций эхо-сигналов от объектов на угловых ракурсах выбранных оператором.

Особенностью системы является использование стробоскопического метода регистрации G, осуществляющего растяжение сигналов во времени, что позволяло вести запись быстро протекающих процессов устройствами с малым быстродействием. Для строгой привязки во времени всех действующих в системе процессов предусмотрено устройство генерирования и синхронизации сигналов. Это устройство из колебаний кварцевого генератора формирует высокостабильные по временному положению и форме зондирующие сигналы; сигналы гетеродина и стробирующий импульс.

Устройство генерирования сигналов предусматривает формирование сигналов с тональным, частотно-модулированным (ЛЧМ) и шумовым заполнением в частотном диапазоне от 200 кГц до 0,5–1,5 мГц, длительностью от 10 до 3000 мкс.

Ширина полосы сложных сигналов составляла от 2 до 20 % от средней частоты во всех диапазонах несущих частот. Формирование длительности сигнала, сигнала строба и его задержки производятся цифровыми методами, чем достигается сигнала во времени, а также стабильность времени задержки строба и его длительности. В аппаратуре предусмотрена возможность широкого изменения времени задержки зондирующего импульса и его длительности, что позволяет улучшить помехозащищенность и тем самым повысить качество измерений в условиях бассейна. Принятые эхо-сигналы от модели после стробирования в приемнике регистрируются в аналоговой форме на самописец уровней типа «Брюэль». Динамический диапазон приемного тракта 60 дБ.

В измерительной системе предусмотрена регистрация как огибающей, так и заполнения эхо-сигнала, в том числе в цифровом виде. В пределах временного строба формирователь выборки стробоскопического кодирования генерирует последовательно смещаемые от цикла к циклу импульсы выборки, в момент которых АЦП запоминает значения анализируемого процесса и преобразует их в цифровую форму для ввода и последующей обработки на ПЭВМ. В комплексе также имеется возможность проведения спектрального анализа сигналов на анализаторе аналогового типа с полосой анализа около 100 Гц.

В процессе исследований использовалась многочастотная антенна, рассчитанная на частоты 200 кГц, 500 кГц, 1000 кГц и 1500 кГц. Полоса излучаемых частот сигналов уровне 3 дБ составляла 10–20 % от среднего значения основных частот. Акустические антенны устанавливались на подъемно-поворотном устройстве, входящем в координатную систему с автоматическим приводом, управляе-

мым с единого пульта. Сюда же входит и устройство вращения модели с датчиком угла ее поворота. Координатное устройство обеспечивало установку и регистрацию угла облучения модели цели с точностью до десятых долей градуса.

Объектами исследований являются модели ПЛ в масштабе 1:200 и 1:400. Модели выполнены в виде тонких оболочек прочного и легкого корпусов с соблюдением их толщин, в которых воспроизведены основные элементы конструкции. Измерения проводились в дальней зоне как излучателя, так и моделей. Для оценки отражательной способности использовался известный метод сравнения с эталоном [5]. Величина отражательной способности определялась, как:

$$R_{\sigma} = (R_{\sigma})_{\text{эт}} \times A_{\sigma} / A_{\text{эт}}, \dots \dots \dots (1)$$

где $(R_{\sigma})_{\text{эт}}$ – эквивалентный радиус эталонного отражателя; A_{σ} и $A_{\text{эт}}$ – амплитуды эхо-сигналов, соответственно, от модели и эталона.

В качестве эталонных отражателей использовались жесткие абсолютно-отражающие сферы и сфероиды определенного физического размера.

На рис. 4–6 показаны примеры полученных эхо-портретов, где по оси абсцисс отложены задержки элементарных отражателей относительно момента прихода 1-го отражателя в мксек., а по оси ординат – эквивалентный радиус элементарных отражателей, в м.

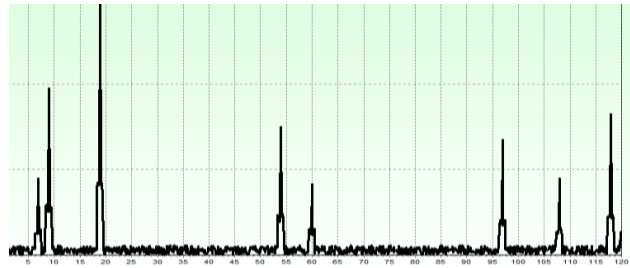


Рис. 4. Моностатический режим, $\varphi=60$ град.

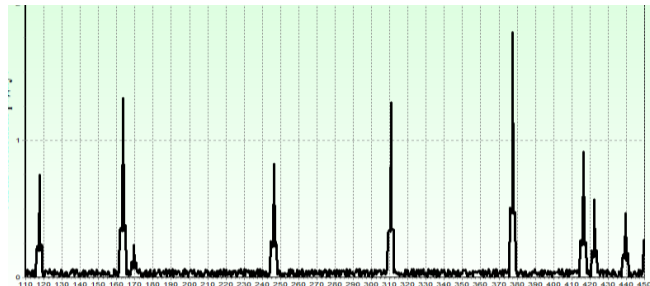


Рис. 5. Бистатический режим, $\varphi=60$ град., $\gamma=30$ град.

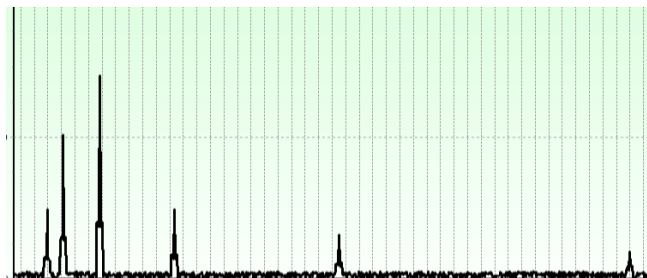


Рис. 6. Бистатический режим, $\varphi=60$ град., $\gamma=90$ град.

Выполненные экспериментальные исследования эхопортретов для бистатистических углов цели (ν) до 90 град. включительно при использовании сложных зондирующих сигналов и когерентной обработки информации позволили сделать следующие выводы:

Эквивалентный радиус цели по сравнению с моностатическим режимом уменьшается при $\nu < 8-10$ град. на 2–3 дБ, а при $\nu=90$ град. на 6 дБ.

Проекция эхо-портрета на продольную ось цели сжимается и при $\nu=90$ град. уменьшается вдвое по сравнению с проекцией для моностатического режима при аналогичных углах облучения Ф.

Целесообразно продолжить экспериментальные исследования, в том числе для тупых бистатистических углов ($\nu > 90$ град.).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Cox H.* Fundamentals of Bistatic Active Sonar, in Y T Chan (ed.), Underwater Acoustic Data Processing, Kluwer Academic Publishers. – 1989. – P. 3-24.
2. *Белоус Ю.В., Козловский С.В., Сергеев В.А.* Полистатистический метод локации применительно к подвижным носителям // Труды VIII Международной конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». – СПб.: Наука, 2006. – С. 81-84.
3. *Белоус Ю.В., Козловский С.В.* Экологический мониторинг водных районов с использованием моностатического и полистатического методов локации // Известия ТРТУ. – 2006. – № 12 (67). – С. 78-81.
4. *Салин М.Б., Соков Е.М., Суворов А.С.* Расчет бистатической силы цели сложных много-резонансных оболочек методом конечных элементов // Акустический журнал. – 2011. – Т. 57, № 5. – С. 709-716.
5. *Freedman A.* A mechanism of echo formation // Acoustica. – 1960. – Vol. 12, № 1. – P. 10-21.
6. *Р. Дж. Урик.* Основы гидроакустики. – Л.: Судостроение, 1978. – 445 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор С.П. Тарасов.

Илларионов Алексей Александрович – Научно-исследовательский центр радиоэлектронного вооружения и формирования информационных ресурсов ВМФ; e-mail: sk_tzse@mail.ru; 196604, Санкт-Петербург-Пушкин, ул. Красной Звезды, 31; тел.: 88124652706; начальник отдела.

Козловский Сергей Викторович – в.н.с.; к.т.н.

Чернов Владимир Павлович – с.н.с.; к.т.н.

Шаронов Алексей Александрович – Scientific-research Center of Radio Electronic Equipment and Formation of Information Resources of the Navy; e-mail: sk_tzse@mail.ru; 31, Red Stars street, Saint-Petersburg-Pushkin, 196604, Russia; phone: +78124652706; head of division.

Kozlovski Sergey Viktorovich – senior researcher; cand. of eng. sc.

Chernov Vladimir Pavlovich – senior researcher; cand. of eng. sc.