

2. *Гицба Я.В.* Влияние регионального потепления климата на изменения температуры и солености поверхностных вод сухумской акватории Черного моря // Вестник АНА. – 2011. – № 3. – С. 201-207.
3. Наставление по гидрометеорологическим станциям и постам. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – Вып. 9. – Ч. 1. – 312 с.
4. *Титов В.Б., Савин М.Т.* Об оценке температурного режима атмосферы, формирующего гидрологическую структуру Черного моря // Метеорология и гидрология. – 2000. – № 10. – С. 78-84.
5. *Экба Я.А., Дбар Р.С., Гицба Я.В.* Ветровое волнение и абразия черноморского побережья Абхазии. Морские берега – эволюция. Экология, экономика: Материалы XXIV Международной береговой конференции. – Туапсе, 2012. – Т. 2. – С. 113-123.
6. *Экба Я.А., Дбар Р.С.* Экологическая климатология и природные ландшафты Абхазии. – Сочи: Папирус-М-Дизайн, 2007. – 324 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.ф.-м.н., профессор Р.А. Ласурия

Экба Январби Алиевич – Абхазский госуниверситет, Институт экологии АНА; e-mail: Asida_cen@mail.ru; e-mail: ekba-yan@yandex.ru, 384904, г. Сухум, ул. Университетская, 1; тел.: +79409217190; кафедра прикладной экологии; зав. кафедрой; зам. директора по науке; д.ф.-м.н.; профессор; член – корр. АНА.

Гицба Яна Валиковна – e-mail: Yana-love@mail.ru; г. Сухум, ул. Аргун, 28, 11; тел.: +79409934818, +78402231019; кафедра прикладной экологии; доцент; с.н.с.

Ekba Yanvarbi Alievich – Abkhazian state university, Institute of ecology of the Academy of science of Abkhazia; e-mail: ekba-yan@yandex.ru; 1, University, street, Sukhum, 384904; phone: +79409217190; the applied ecology department; head the department; depute director of science; dr. of phis.-math. sc.; professor; the member correspondent of the Academy of science of Abkhazia.

Gitsba Yana Valikovna – e-mail: Yana-love@mail.ru; 28, 11, Argun street, Sukhum; phone: +79409934818, +78402231019; the applied ecology department; associate professor; senior scientist.

УДК 621.396.933.21

Д.Ш. Нагучев, В.Л. Сахаров, О.А. Савицкий

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОСВЕЩЕНИЯ ЛЕДОВОЙ ОБСТАНОВКИ В ПАРАМЕТРИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

Рассматриваются результаты разработки системы для текущего анализа ледовой обстановки на борту объекта в параметрическом режиме. Описана математическая модель формирования и распространения зондирующих сигналов в акустическом канале параметрического измерителя толщины льда, модель отражения (рассеяния) акустических сигналов от локально-плоскостной системы с размытыми границами. Проведено математическое моделирование акустического канала ПИТЛ. Выполнен выбор и обоснование типов зондирующих сигналов. Сделаны оценки погрешности измерений толщины льда в условиях априорной неопределенности информации об актуальных значениях скорости звука во льду.

Параметрическая антенна; ледовая обстановка; модель; акустический канал.

D.Sh. Nagutchev, V.L. Sakharov, O.A. Savitskiy

TECHNOLOGY DEVELOPMENT OF TECHNICAL MEANS OF ICE CONDITIONS MONITORING IN THE PARAMETRIC MODE

The results of the development of systems for routine analysis of ice conditions on board the object in parametric mode are discussed in the article. The mathematical model of the formation and propagation of the probing signals in the acoustic channel of parametric gauge ice thickness,

the model of reflection (scattering) of acoustic signals from the local plane-system with fuzzy boundaries were considered. Mathematical modeling of the acoustic channel was provided. The choice and justification types of sounding signals were made. Estimations of measurement error in the thickness of the ice conditions of a priori uncertainty of the information about the actual values of the velocity of sound in the ice were conducted.

Parametric array; ice conditions; model; acoustic channel.

Морской лед представляет собой неоднородную поликристаллическую среду с возможными включениями жидкой фазы в виде прослоек морской воды повышенной солености (рассола) [1]. Большое влияние на рост и форму кристаллов оказывает соленость морской воды. При замерзании морской воды происходит раздельное образование структурных решеток льда и каждой соли, которые не могут объединяться и включаются в кристалл только на участках его дефектов.

В естественных условиях в море всегда содержится огромное количество ядер кристаллизации, распределенных, как правило, более или менее равномерно, поэтому оно всегда подготовлено к замерзанию и большие переохлаждения в естественных условиях встречаются не часто. Вследствие таких условий возникающая в отдельных очагах кристаллизация быстро распространяется по большой акватории. За несколько часов она покрывается ледяным «салом», придающим поверхности моря маслянистый блеск. Ледяное сало состоит из первичных кристалликов льда. Ветер и волны перемешивают кристаллы, их ориентировка становится хаотической вплоть до глубины, на которую они заносятся турбулентным перемешиванием [2].

Образовавшийся ледяной покров постоянно находится под действием различных напряжений, главные из которых обусловлены воздействием ветра, течения и колебаний уровня моря. Силы гидрометеорологического происхождения вызывают подвижки льда, приводящие к довольно крупномасштабным его торшениям, взламыванию на большой площади, образованию трещин и разводий. Торшение и разломы льда – обычное явление, вследствие чего морской ледяной покров представляет собой не ровную пластину, а совокупность отдельных льдин и их сморозей различной толщины, размеров и формы с торосами, имеющими вертикальную протяженность до десятка метров и занимающими значительные площади.

По своим физическим свойствам морская вода является средой распространения акустических волн, не обладающей физической дисперсией с квадратичным характером нелинейности, коэффициент диссипативного поглощения, в которой имеет квадратичную частотную зависимость. Распространение первичных волн в такой среде в виде высокочастотных звуковых пучков (на апертуре антенны накладки укладывается много длин волн) может быть описано в квазиоптическом приближении квазилинейным уравнением Хохлова–Заболотской–Кузнецова [2].

$$\frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{\partial V}{\partial z} - V \frac{\partial V}{\partial \theta} - \Gamma \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \right) = \frac{N}{4} \Delta_{\perp} V, \quad (1)$$

где $V = \frac{v}{v_0}$, $v = v(z, \theta, x, y)$ – нормированная скорость смещения частиц в волне;

z – расстояние от центра излучателя до точки наблюдения вдоль акустической оси источника излучения, нормированное на характерный масштаб проявления

нелинейных эффектов l_p ; $\Gamma = \frac{l_p}{l_3}$ – диссипативный параметр, равный отноше-

нию характерных масштабов проявления нелинейности и дифракции; $N = \frac{l_p}{l_d}$ –

отношение характерных масштабов проявления нелинейности и дифракции l_d ;

$\theta = \omega(t - z/c)$ – «безразмерное время» в сопровождающей системе координат, движущейся вместе с волной со скоростью звука c ; ω — характерная частота волн;

Δ_{\perp} – поперечный лапласиан $(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2})$. Уравнение (1) используется в математи-

ческой модели параметрического измерителя толщины льда (ПИТЛ) для описания нелинейных процессов формирования поля разностных волн и распространения зондирующих сигналов разностной частоты и накачки до объекта локации.

Основными требованиями к созданной модели являются: адекватность физической картине процесса распространения волн; простота, возможность построения экономичного вычислительного алгоритма и его программной реализации.

При вертикальном зондировании ледового покрова наиболее адекватной физической ситуацией является его модель в виде локально-плоскостной среды с размытыми границами. При этом степень размытости границ ледового покрова и его акустические характеристики достаточно медленно изменяются в горизонтальном направлении, т.е. характерный масштаб горизонтальной изменчивости неоднородностей ледового покрова L_g и диаметр засветки на поверхности льда d связаны условием $d \ll L_g$.

При разработке модели были приняты следующие допущения:

- ◆ нелинейные процессы генерации разностной волны прекращаются на расстояниях, значительно меньших расстояний до нижней кромки льда;
- ◆ поле волн – разностной частоты является достаточно направленным, чтобы считать фронт разностной волны в пределах главного максимума характеристики направленности квазиплоским, но при этом волновой размер засвечиваемой области является большим.

Последнее допущение выполняется в диапазоне расстояний от антенны до нижней кромки льда

$$\frac{\lambda}{\pi \Delta\varphi} \ll R < \frac{\lambda}{(\Delta\varphi)^2}, \quad (2)$$

где λ – длина волны; $\Delta\varphi$ – ширина основного лепестка характеристики направленности для разностной волны. При ширине главного лепестка антенны порядка единиц градусов, характерной для параметрических антенн, условие (2) выполняется в диапазоне расстояний 10–150 м.

Распространение акустических волн давления $p(z, t)$ в плоскостной среде с произвольным распределением скорости звука $c(z)$ и плотности $\rho(z)$ по координате z в линейном приближении описывается гиперболическим уравнением вида [2]

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} - c^2 \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} + \frac{c^2 \rho'}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = 0, \quad (3)$$

где ρ' — производная плотности среды по координате z . Для учета медленных изменений параметров ледового покрова в направлении движения носителя акустические параметры отражающей структуры предполагаются зависящими также от координат x и y в следующем виде $c = c(z, \mu x, \mu y)$ и $\rho = \rho(z, \mu x, \mu y)$, где μ – малый параметр ($\mu \ll 1$).

Функционально ПИТЛ представляет собой однопозиционную нелинейную акустическую систему вертикального зондирования и измерения расстояний. Построенная физическая модель акустического тракта ПИТЛ и требования к зондирующим сигналам и методам их обработки позволяют определить структуру математического обеспечения ПИТЛ в виде, показанном на рис. 1.

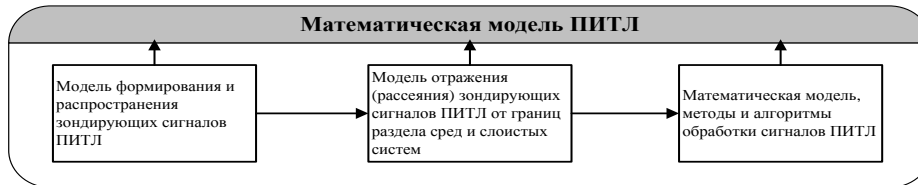


Рис. 1. Структура математической модели ПИТЛ

Результаты расчета распространения волн накачки в нелинейной среде и генерации поля разностных волн в виде трехмерного массива и файла параметров конфигурации передаются через пользовательский интерфейс в программный модуль, где выполняются расчеты отражения зондирующих сигналов от ледового покрова и распространения отраженных сигналов в обратном направлении. Результаты работы этого программного модуля являются входными данными для моделирования процессов обработки сигналов в ПИТЛ.

Необходимость решения задачи измерения задержки эхосигналов от слоистой системы, которую представляет собой ледовый покров, накладывает жесткие ограничения на классы применяемых сигналов и методы их обработки. Для такой структуры отражающего объекта моделью разностного эхосигнала может служить последовательность двух и более масштабированных копий зондирующих импульсов, следующих после эхоимпульса накачки. Время задержки копий и их амплитуды являются случайными величинами.

$$s(t) = \sum_{i=1}^N A_i s(t - t_0 - \xi_i). \quad (4)$$

Нелинейный метод формирования сигналов ПТИЛ предоставляет широкие возможности излучения различных классов зондирующих сигналов на разностных волнах. Это могут быть как сигналы с высоким значением частотно-временного произведения $B = \Delta f \cdot T$, например, ЛЧМ колебания, фазоманипулированные кодовые последовательности, так и сверхкороткие импульсы длительностью в один период синусоидального сигнала, радиоимпульсы, содержащие несколько периодов несущей частоты.

Преимуществом сверхкоротких импульсов в виде одного периода синусоиды является:

- ◆ их предельно высокая разрешающая способность, что обеспечит в случае высокого отношения сигнал/шум необходимую точность измерений;
- ◆ отсутствие ложных срабатываний из-за отсутствия дополнительных максимумов в анализируемой временной выборке;
- ◆ отсутствие влияния на результат измерений относительного смещения ПЛ и ледового покрова (эффект Доплера).

СКО измерения толщины льда в канале с гауссовым шумом в этом случае будет

$$\sigma = \frac{c \cdot \tau}{2 \cdot \sqrt{E/N}}, \quad (5)$$

где E/N – отношение сигнал/шум по мощности. Как видно из (5), заданное СКО измерения толщины льда обеспечивается для импульса длительностью 100 мкс, когда величина $\sqrt{E/N} > 3$.

Как показывают выполненные расчеты, применение сверхкоротких сигналов ограничено их низкой энергией. Для устранения этого недостатка может быть использован метод когерентного накопления пачки коротких импульсов, излучаемых с заданным интервалом. Применение сверхкоротких импульсных сигналов в ПИТЛ целесообразно при благоприятной помехосигнальной обстановке, а также в том случае, когда акустический канал ПИТЛ обладает высокой пространственно-временной изменчивостью и случайным образом искажается форма сигнала за время его прохождения в канале распространения.

Решение поставленных задач предполагает реализацию в ПИТЛ пространственной фильтрации эхосигнальной информации, которая будет обеспечивать локальное измерение толщины льда и панорамный обзор в поперечной плоскости. Реализация пространственной фильтрации в параметрическом измерителе толщины льда имеет ту особенность, что технически невозможно создать приемлемую направленность на низких частотах разностных волн в режиме приема. Поэтому пространственная фильтрация в ПИТЛ реализуется путем формирования и управления пространственных каналов в режиме излучения волн накачки.

Измерение толщины слоя льда со статистически неровной поверхностью предполагает применение методов формирования такого поля зондирующих сигналов, когда влияние поверхностной реверберации на результаты измерений было бы минимальным.

Высокие требования по точности измерений толщины льда предполагают использование широкополосных зондирующих сигналов. Вместе с тем, ледовый покров обладает высоким поглощением со степенной частотной зависимостью коэффициента поглощения, показатель которой изменяется от 2 до 4. Используемые методы и алгоритмы обработки сигналов в ПИТЛ должны учитывать это обстоятельство [3, 4].

Предлагаемый метод формирования поля зондирующих сигналов, режимы излучения и последующая обработка эхосигнальной информации должны предусматривать возможность определения характера отражающей границы, включая границы ”вода-слой” льда, ”вода-воздух”, с определением степени волнения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Физика океана / Под ред. Ю.П. Доронина. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 296 с.
2. Савицкий О.А. Модель распространения акустической волны в плоскостной неоднородной среде // Известия ТРТУ. – 2005. – № 9 (53). – С. 137.
3. Савицкий О.А., Чистякова Т.А., Шишнев А.В. Построение и параллельная реализация математической модели распространения звуковых пучков в нелинейной среде на многопроцессорной вычислительной системе с распределенной памятью // Альманах современной науки и образования. – 2013. – № 1. – С. 134-139.
4. Старченко И.Б. Мониторинг и прогнозирование состояния гидросферы при помощи нелинейных методов анализа эволюции искажений акустических сигналов в природных условиях // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 9 (122). – С. 93-103.

Статью рекомендовал к опубликованию д.ф.-м.н., профессор Г.В. Куповых.

Нагучев Даулет Шабанович – ОКБ «Ритм» Южного федерального университета; e-mail: main@ritm.tsure.ru; 347900, г. Таганрог, ул. Петровская, 99; советник директора.

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