

Statsenko Lubov Grigorievna

E-mail: lu-sta@mail.ru.

Phone: +79025246057.

Head of Department of Radio, Television and Communication, Dr. of Phis.-Math. Sc.;
Professor.

Kulik Sergey Yurievich

E-mail: kulikser@mail.ru.

Phone: +79147009359.

Postgraduate Student of Department of Radio, Television and Communication.

УДК 534.23

Л.Г. Стаценко, Д.В. Злобин

**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА ПОЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ
В ОДНОРОДНОМ ВОЛНОВОДЕ***

На основе обобщенной теории выполнено компьютерное моделирование процессов формирования направленного излучения в волноводе для определения оптимальных условий возбуждения и приема придонной волны, которая является особым видом пограничного волнового движения на границе раздела вода – морское дно. Показано, что придонная волна является доминирующей в поле донного излучателя. Сделан вывод об эффективности применения донных излучателей монопольного типа для возбуждения придонной волны.

Обобщенная теория нормальных волн; импедансная граница раздела; придонная волна; донный излучатель.

L.G. Statsenko, D.V. Zlobin

**SPATIAL STRUCTURE OF VERTICAL ANTENNA FIELD
IN HOMOGENEOUS WAVEGUIDE**

Computer modeling of processes of directed radiation formation in waveguide for definition of optimum conditions of excitation and reception of the subbottom wave is carry out on the base of the generalized theory. The subbottom wave represent a special kind of boundary wave motion water – sea-bottom interface. It is shown, that the subbottom wave is dominating in the field of ground projector. It is drawn a conclusion on efficiency of application of ground projectors of monopole type for excitation of subbottom wave.

Generalized theory of normal waves; impedance interface; subbottom wave; bottom radiator.

Физические явления, обеспечивающие подсветку донного полупространства, могут являться основой для разработки методов и приборов для контроля морского дна. Обобщенная теория нормальных волн в слоистых средах [1] прогнозирует существование придонной волны, которая может быть использована для работы морского томографа [2]. Генерация придонной волны может осуществляться установленной на дно вертикальной антенной с характеристикой направленности монопольного или дипольного типа. Другим следствием обобщенной теории нормальных волн является эффект самофокусировки – появление фокального пятна на оси симметрии в нижнем полупространстве, размеры и глубина которого зависят от положения источника. В образовании фокального пятна основную роль играет

* Работа выполнена при поддержке федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» мероприятие 1.2.2 «Проведение научных исследований научными группами под руководством кандидатов наук» (Гос. контракт № 2524 от 20.11.09 г.).

волна отдачи, присутствующая в обобщенном решении. Наличие фокального пятна на оси источника в дне влияет на работу оборудования, предназначенного для прозвучивания донных слоев. Учет влияния эффекта самофокусировки на работу донного профилографа можно найти в работе [3], где также приведены расчетные формулы для коррекции волны отдачи и повышения разрешающей способности метода профилирования.

Характеристики придонной волны, структура звукового поля придонного излучателя в водном слое и донном полупространстве могут быть получены и детально исследованы методом математического моделирования, который позволяет провести численный эксперимент, не прибегая к трудоемким и дорогостоящим натурным или лабораторным исследованиям.

Согласно обобщенной теории придонная волна образована первой парой нормальных волн и боковой волной [1]. Она наиболее эффективно возбуждается донным излучателем, характеристика направленности которого локализована в диапазоне углов скольжения $\beta = 0 - 15^\circ$. Для этих углов скольжения в соответствии с обобщенной теорией полного внутреннего отражения граница раздела сохраняет достаточную прозрачность по энергии. Все остальное излучение расходуется на возбуждение вытекающих нормальных волн комплексного спектра, уносящих энергию в полупространство, или на возбуждение водных волн высшего порядка, локализованных в самом волноводе. Однако на импедансной границе раздела вода – морское дно водные волны высшего порядка вырождаются, а их уровень оказывается малым вследствие проявления эффекта мягкого экрана.

Рассмотрим работу донного излучателя монополюсного типа с учетом дифракционных поправок [4], полученных для звукового поля, создаваемого монополюсным источником в волноводе. При достаточной апертуре такой излучатель создает направленное излучение в диапазоне малых углов скольжения и обеспечивает селективное возбуждение придонной волны.

Выражение для потенциала звукового поля монополюсного излучателя с радиусом a и высотой $L = 2l$, центр которого находится на горизонте $z = z_0$, записывается в следующем виде:

$$\phi(r, z) = \sum_n \frac{\sin(k_{31} z_0) \sin(k_{31} z)}{\xi_n E_n H_1^{(2)}(\xi_n a)} \Phi_n \varepsilon_n H_0^{(2)}(\xi_n r) + \phi_{\text{выт}}(r, z) + \Delta\phi_{13}(r, z), \quad (1)$$

где $k_{31} = \sqrt{k_1^2 - \xi^2}$, $k_1 = \frac{\omega}{c_1}$, c_1 – скорость звука в волноводе, ω – круговая частота,

ξ_n – спектральный параметр, n – номер нормальной волны, регулярной или обобщенной, E_n – коэффициент энергоемкости моды, r, z – горизонтальная и вертикальная координаты соответственно, $\Phi_n = \sin(k_{31,n} l)$ – характеристика направленности монополя, $\phi_{\text{выт}}(r, z)$ – сумма вытекающих нормальных волн с комплексными постоянными распространения, $\Delta\phi_{13}(r, z)$ – дифракционная поправка, которая компенсирует скачок давления и нормальной компоненты колебательной скорости, связанный с формированием процесса затекания звуковой энергии на горизонт полного внутреннего отражения и возвратом ее в волновод.

На рис. 1, 2 показана структура звукового поля донного направленного излучателя монополюсного типа, вычисленного по формуле (1) для значений частотного параметра $k_1 h = 100; 400$. Размер излучателя $L_1 = L/h = 0,1$, горизонт излучения $z_{01} = z_0/h = 0,95$ и частотные параметры, использованные в расчетах, соответствуют параметрам излучателя и рабочим частотам натурального эксперимента, описанного в работе [5].

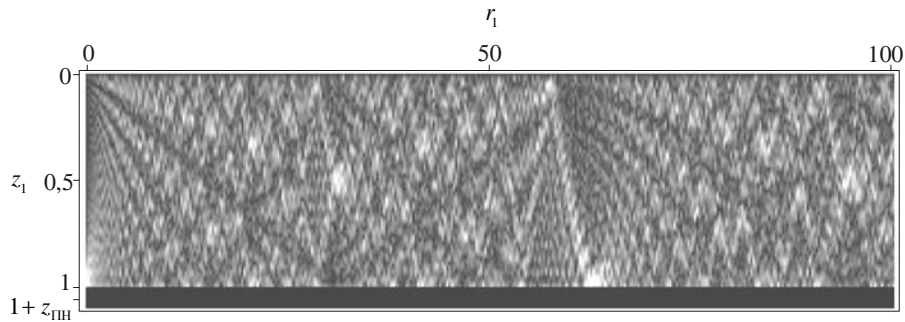


Рис. 1. Звуковое поле донного излучателя монопольного типа;
 $k_1 h = 100$, $z_{01} = 0,95$

Из рассмотренных примеров видно, что придонная волна является доминирующей в поле донного излучателя, а с повышением частоты звуковое поле локализуется в основном в пограничном звуковом канале. В классическом описании распространение водной волны под нулевыми углами скольжения запрещено противофазным отражением, что приводит к вырождению таких волн, а их амплитуда убывает с квадратом расстояния. С учетом этого звуковое поле донного излучателя на достаточно больших расстояниях отрывается от импедансной границы и смещается в сторону верхней границы с последующим циклическим отражением от обеих границ [1].

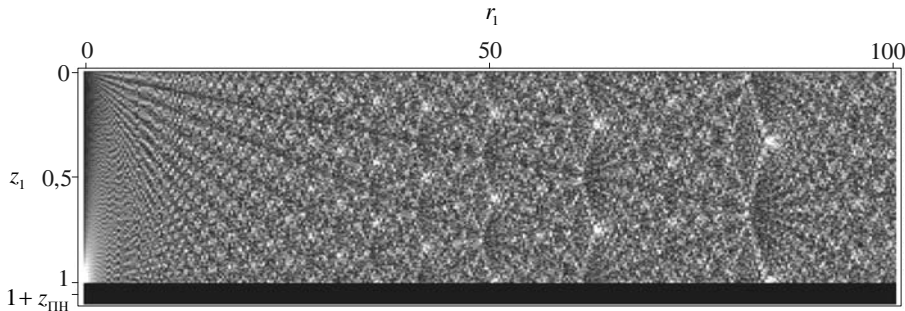


Рис. 2. Звуковое поле донного излучателя монопольного типа; $k_1 h = 400$, $z_{01} = 0,95$

В отличие от классической обобщенная теория вполне адекватно описывает механизм полного внутреннего отражения, который компенсирует эффект мягкого экрана и делает возможным распространение придонной волны в пограничном звуковом канале при сколь угодно малых углах скольжения. Однако эффективность возбуждения придонной волны в пограничном звуковом канале, направленной излучателем, зависит не только от его возвышения над дном, которое не должно существенно превышать длину волны, но и от направленных свойств самого излучателя.

Уровень возбуждения придонной волны, в свою очередь, влияет на величину дифракционных поправок, учитывающих эффект обратного затекания придонной волны в волновод, которые искажают суммарное звуковое поле в волноводе. С уменьшением высоты излучателя над дном увеличивается роль придонной волны и вклад дифракционных поправок в суммарное звуковое поле в волноводе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Касаткин Б.А.* Корректная постановка граничных задач в акустике слоистых сред // Б.А. Касаткин, Н.В. Злобина. – М.: Наука, 2009. – 496 с.
2. *Касаткин Б.А.* Придонная волна и перспективы ее применения для экологического мониторинга верхнего слоя морского дна / Б.А. Касаткин, Н.В. Злобина, Л.Г. Стаценко, Д.В. Злобин // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2009. – № 6 (95). – С. 109-114.
3. *Касаткин Б.А.* Эффект сверхфокусировки слабо направленного излучения при профилировании морского дна / Б.А. Касаткин, Н.В. Злобина, С.Б. Касаткин, Г.В. Косарев // Материалы Третьей Всероссийской научно-технической конференции «Технические проблемы освоения Мирового океана». – Владивосток. – С. 204-211.
4. *Касаткин Б.А.* Сравнительный анализ классического и обобщенного решений граничной задачи Пекериса / Б.А. Касаткин, Н.В. Злобина // Акустика неоднородных сред. Ежегодник РАО. – Троицк: Тривант, 2007. – Вып. 8. – С. 158-171.
5. *Злобина Н.В.* Придонная волна на шельфе и перспективы ее использования / Н.В. Злобина, Б.А. Касаткин, Ю.В. Матвиенко, Р.Н. Рылов // Труды IX Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». – СПб. Наука, 2008. – С. 540-544.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. В.А. Воронин.

Стаценко Любовь Григорьевна

Дальневосточный государственный технический университет.

E-mail: lu-sta@mail.ru.

690950, Владивосток, ул. Пушкинская, 10.

Тел.: +79025246057.

Зав. кафедрой радио, телевидения и связи; д.ф.-м.н.; профессор.

Злобин Дмитрий Владимирович

E-mail: memrbomel@mail.ru.

Тел.: +79024801250.

Аспирант кафедры радио, телевидения и связи.

Statsenko Lubov Grigorievna

Far Eastern State Technical University.

E-mail: lu-sta@mail.ru.

10, Pushkinskaya Street, Vladivostok, 690950, Russia.

Phone: +79025246057.

Head of Department of Radio, Television and Communication, Dr. of Phys.-Math. Sc.; Professor.

Zlobin, Dmitry Vladimirovich

E-mail: memrbomel@mail.ru.

Phone: +79024801250.

Postgraduate Student of Department of Radio, Television and Communication.

УДК 534.23

Н.В. Злобина, Б.А. Касаткин, С.Б. Касаткин

**ЭФФЕКТ САМОФОКУСИРОВКИ НЕНАПРАВЛЕННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ПОИСКА МАЛОРАЗМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ
В МОРСКОМ ДНЕ**

Сформулирована несамосопряженная модельная постановка граничных задач в акустике слоистых сред, позволяющая математически корректно описать экспериментальные результаты аномального характера и предсказать эффект самофокусировки ненаправленного излучения сходящейся волной отдачи в донном полупространстве. Приведены