

ТАГАНРОГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

на правах рукописи

БРОСАЛИН Андрей Витальевич

bg

УДК 534.222.2

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО
ПРОФИЛОГРАФА ДЛЯ ЗОНДИРОВАНИЯ СЛОИСТОЙ
СТРУКТУРЫ**

Специальность 05.11.06. "Акустические приборы и системы"

АВТОРЕФЕРАТ
*диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук*

Таганрог 1997

Работа выполнена в Таганрогском государственном радиотехническом университете

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор, академик АЕН РФ В. И. Тимошенко

Официальные оппоненты:

Доктор физ.-мат. наук, профессор РЫЖОВ Владимир Петрович (ТРТУ, г. Таганрог)

Кандидат техн. наук, УСОВ Владимир Павлович (НИИ "Бриз", г. Таганрог)

Ведущая организация – завод "Прибой", г. Таганрог

Защита состоится '18' сентября 1997 г. в _____ часов на заседании диссертационного совета К 063.13.03 Таганрогского государственного радиотехнического университета.

Адрес: 347928, ГСП 17 а, г. Таганрог Ростовской области, пер. Некрасовский, 44.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат

Ученый секретарь
диссертационного

690

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время приоритетное значение приобрело освоение ресурсов Мирового Океана. Наличие богатейших залежей полезных ископаемых и биологических объектов определяют рост интенсивности их освоения. Для практической реализации комплексного подхода исследования океана можно выделить следующие основные задачи:

- разведка подводных залежей полезных ископаемых;
- обеспечение разработки и добычи полезных ископаемых;
- обеспечение навигации;
- экологический мониторинг водной среды.

Среди различных методов исследования морской среды важное значение имеют методы дистанционного акустического зондирования. В этой связи, параметрическая излучающая антенна (ПА) представляется одним из наиболее перспективных инструментов исследования морских ресурсов. Такую антенну образуют источник акустических высокочастотных волн накачки и некоторый объем среды распространения, в которой происходят следующие физические процессы:

- нелинейное взаимодействие высокочастотных волн накачки;
- генерация волны разностной частоты (ВРЧ), суммарной частоты, гармоник исходных волн;
- формирование диаграммы направленности.

Узкая, частотно-независимая диаграмма направленности при малых апертурах, отсутствие или низкий уровень боковых лепестков в диаграмме направленности, широкий диапазон излучаемых частот позволяет говорить об универсальности параметрических антенн как средства для исследования океана.

Параметрические антенны широко используются при профилировании морских осадков. Разрешающая способность при вертикальной схеме профилирования в основном определяется длительностью зондирующего импульса. Однако пространственное расположение границ по трассе распространения акустических волн часто оказывается таковым, что отраженное поле является суперпозицией акустических волн, отраженных от нескольких границ раздела. Это обстоятельство требует учета всех компонент отраженного поля, формирующихся до границ раздела и между ними.

При разведке донных отложений стремятся детерминировать границы слоистой структуры. С этой целью, как правило, уменьшают длительность зондирующего импульса, что в свою очередь ведет к потере энергии эхосигнала. Ситуация, при которой

ВНКТРО

№

эхоимпульс является суперпозицией отражений от нескольких границ раздела, на практике считается неинформативной. Теоретическое и экспериментальное исследование этого вопроса должным образом не проводилось. Однако фатальность суперпозиционного эхосигнала нельзя отрицать.

Создание параметрических излучающих систем для исследования слоистой структуры требует проведения теоретического и экспериментального исследования характера влияния границ раздела в области нелинейного взаимодействия на пространственные характеристики отраженного поля.

Детерминированию границ раздела, а также повышению разрешающей способности посвящено большое количество теоретических и экспериментальных работ. В связи с этим, рассматриваются различные схемы зондирования морских осадков, применение сложных сигналов, их обработка и т.д. Однако большинство этих методов позволяет разрешить границы раздела при расстоянии между ними не меньшем половины пространственной протяженности зондирующего импульса. Перекрытие эхосигналов от различных границ может намного превышать 50 % от длительности импульса. В данной ситуации для детерминирования границ раздела предлагается применить метод кепстрального анализа отраженных сигналов.

Цель работы и задачи исследования. Целью работы является исследование работы параметрической антенны при вертикальном зондировании системы донных слоев и разработка метода повышения разрешающей способности по дистанции параметрического профилографа.

Для достижения поставленной цели ставятся следующие задачи диссертационной работы:

- теоретически и экспериментально исследовать в квазинепрерывном режиме отраженное поле от двух границ раздела, расположенных в зоне взаимодействия волн накачки параметрической антенны, при изменении расстояния между ними, а также изменении акустических свойств среды, заключенной между границами;
- применить кепстральный анализ для обработки эхосигналов параметрического профилографа от слоистой структуры для повышения разрешающей способности по дистанции;
- разработать, изготовить макет и исследовать параметрический профилограф для зондирования слоистой структуры.

Новые научные результаты.

1. Получено аналитическое выражение, описывающее отраженное поле параметрической антенны от системы из n границ или слоев, позволяющее выявить основные закономерности изменения характеристик отраженного поля параметрической антенны.
2. Показана потенциальная возможность использования кепстрального анализа эхосигналов при профилировании слоистых сред с использованием параметрических антенн, с целью повышения продольной разрешающей способности.
3. Создан и испытан экспериментальный образец параметрического профилографа для исследования стратифицированных морских сред.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Теоретическое исследование и методика расчета отраженного поля параметрической антенны от слоистой структуры, расположенной в области нелинейного взаимодействия;
2. Применение методов кепстрального анализа для разрешения сигналов параметрической антенны при зондировании слоистых структур;
3. Результаты экспериментальных исследований отраженного поля параметрической антенны от системы границ раздела в квазинепрерывном режиме излучения;
4. Практическая реализация параметрического профилографа для дистанционного зондирования слоистых структур.

Внедрение результатов работы. Полученные в работе результаты исследований позволили обеспечить выполнение научно - исследовательских и проектных работ по созданию аппаратуры для исследования шельфа Мирового Океана, проводимых в НИПИ "Океангеофизика", г. Геленджик.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы были представлены и обсуждались на следующих конференциях:

Всероссийской молодежной научно - технической конференции "XXI Гагаринские чтения", Москва, 1995.

Всероссийской научно - технической конференции "Медицинские информационные системы", Таганрог, 1995.

Конференциях профессорско - преподавательского состава ТРТУ, Таганрог, 1995, 1996, 1997.

Содержание диссертационной работы докладывалось и обсуждалось на совместном заседании кафедры электрогидроакустической техники и ТОР Таганрогского государственного радиотехнического университета, 1997.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 5 печатных работ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 66 наименований. Работа содержит 90 страниц машинописного текста и 89 рисунков (всего 179 страниц).

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении обосновывается актуальность темы, научная и техническая новизна, кратко излагаются содержание работы и основные научные положения, которые защищаются в диссертации.

В первой главе диссертационной работы представлен обзор публикаций, посвященных исследованиям параметрических антенн при наличии границ раздела и методов повышения разрешающей способности параметрических приборов. Проведен анализ основных работ, которые затрагивают задачи, решаемые в диссертационной работе. На основании выполненного обзора сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

Во второй главе проводится теоретическое и экспериментальное исследование влияния системы границ раздела в области нелинейного взаимодействия на характеристики параметрической антенны

Отраженное (в квазинепрерывном режиме излучения) от двухслойной структуры поле параметрической антенны представляется в виде выражения

$$P_{\Sigma} = P_1 + \dots + P_n \quad (1)$$

где $n=6$ для двухслойной структуры; P_n - уровень ВРЧ, имеющих различные условия формирования. P_n описывается известным выражением

$$P_n = i \int_0^{z_e} \frac{\exp \left[-\frac{2r^2}{a^2} (1 + iyn) / \left[1 - iz_d + y(i + 2ni + nz_d) \right] \right]}{1 - iz_d + y(i + 2ni + nz_d)} dy, \quad (2)$$

где: $P_n = P_{-2} c_0^3 \rho_0 / \epsilon \Omega p_{01} p_{02} L_d$, $z_1 = z / L_d$. Параметр

$n = L_d^2 / \ell_{d1} \ell_{d2} = \Omega^2 / 4\omega_1 \omega_2$ учитывает взаимное влияние дифракционных эффектов для ВРЧ и накачки.

Выражение (1), описывающее отраженное поле параметрической антенны в (квазинепрерывном режиме излучения) от двухслойной структуры становится весьма громоздким при числе границ раздела большем двух. Поэтому, в диссертационной работе проведен системный анализ влияния границ раздела (слоев), расположенных в области нелинейного взаимодействия, на отраженное поле ПА. Каждый слой добавляет в правую часть выражения (1) четыре компоненты, описывающие вновь формирующиеся ВРЧ, и одну компоненту, описывающую отраженную ВРЧ, сформированную до слоя. Вновь образованные компоненты можно разделить на:

- ВРЧ, сформированную обратным излучением волн накачки, отразившимися от слоя;
- ВРЧ, формирующуюся в направлении излучения в пределах слоя;
- ВРЧ, формирующуюся в обратном направлении (отраженную) от второй границы слоя.

На основе проведенного анализа получено аналитическое выражение (3), описывающее суммарное звуковое поле, отраженное в обратном направлении.

$$\sum_{n=0}^k \left\{ \begin{aligned} & P_{-} (\ell + \sum \ell_d) V_{(n+1)-} \prod_{i=1}^n W_{i-}^2 + V_{n+1}^2 \prod_{i=0}^n W_{i-}^4 \int_0^z \Phi(r, z) dz + \\ & + \left[V_{(n+1)-} + V_{(n+1)}^2 \right] \prod_{i=1}^n W_{i-}^2 \prod_{i=1}^n W_{i-}^{d_N} \int_0^z \Phi(r, z) dz \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где k - число слоев или границ раздела, соответственно.

На основе выражения (3) проведен анализ расчета поля ВРЧ ПА при наличии двух границ раздела в области нелинейного взаимодействия. Расчеты поперечного распределения звукового давления ВРЧ, отраженного от двух границ раздела показали, что при увеличении расстояния между границами в два раза, путем изменения положения ближней к излучателю границы, происходит изменение поперечного распределения:

- поля, отраженного от первой границы на 7%;
- поля, отраженного от второй границы на 10%;
- суммарного отраженного поля от первой и второй границ на 11%.

Следует отметить что поперечное распределение по уровню 0.7 суммарного отраженного поля от первой и второй границ уже поля, отраженного от второй границы, на 8-10 %. Учет этого обстоятельства может привести к увеличению разрешающей способности и увеличению отношения сигнал-шум при донном профилировании. В свою очередь, отраженное поле от первой и второй границ остается инвариантным к изменению положения дальней от излучателя границы.

Рассмотренные выше теоретически полученные зависимости описывают характер отраженного поля от двух границ раздела для случая синфазного сложения компонент правой части выражения (1). Умножив соответствующие компоненты правой части выражения (3) на $\exp(-ikx)$, можно оценить влияние пространственного набега фазы на характеристики отраженного от двух границ раздела поля. Расчетные зависимости осевого распределения поля, отраженного от первой границы раздела, и поля, являющегося интерференцией полей, отраженных от первой и второй границ раздела показывают одинаковый характер для обоих полей. Амплитудное превосходство интерференционного поля объясняется синфазной добавкой компоненты, отраженной от второй границы. Если расстояние между границами пропорционально нечетному числу полуволн, то наблюдается изменение характера рассмотренных осевых распределений. Поле, отраженное от двух границ раздела, убывает медленнее, чем поле, отраженное от первой границы, и поле, отраженное от второй границы. Характер, рассмотренных выше поперечных распределений поля, отраженного от двух границ раздела, не изменяется. При появлении набега фазы наблюдаются амплитудные соотношения между всеми отражениями и поле, отраженное от первой границы раздела, может превышать на 6 дБ интерференционное поле.

Выше теоретически исследовалось отражение звукового поля ПА от двух границ раздела. Среда, заключенная между границами раздела, и среда распространения принимались идентичными. Однако, в реальных условиях пространство между границами заполнено осадочными породами. Таким образом, формирование ПА происходит как в воде, так и в осадочных слоях. В этом случае зона активного взаимодействия высокочастотных волн накачки представляет собой многофазную среду с различными акустическими параметрами. С целью моделирования процесса отражения звукового поля от двух границ раздела с заполнением между ними отличным от воды выбран глицерин. Глицерин по

своим акустическим параметрам во многом аналогичен донным осадкам. Жидкий по составу, он позволяет полностью использовать методику расчета характеристик ПА в воде. Из проведенного в работе анализа некоторых расчетных зависимостей следует что:

- эффективность нелинейного взаимодействия в воде выше, чем в глицерине, но сравнима по порядку;
- вследствие большей скорости звука в глицерине, чем в воде, укорачивается эффективная длина параметрической антенны.

Исходя из выше изложенного можно утверждать, что отраженное поле от слоя глицерина будет описываться выражением (3). Остальные выводы практически совпадают с вышеприведенным анализом для однородной среды.

Далее представлены результаты экспериментальных исследований характеристик отраженного поля параметрической антенны от двухслойной структуры. Рассмотрены структурные схемы экспериментальных установок, вопросы метрологического обеспечения процесса измерений. Результаты исследования анализируются и сравниваются с расчетными. Измерение характеристик отраженного поля от двух границ раздела поля параметрической антенны проводились в диапазоне разностных частот 10 - 50 кГц в заглушенном гидроакустическом бассейне кафедры электрогидроакустической и медицинской техники ТРТУ. Бассейн оборудован соответствующими координатными и поворотными устройствами.

Для проверки теоретических решений, была поставлена задача моделирования слоистой структуры в области нелинейного взаимодействия. С этой целью в гидроакустическом бассейне завешивались два плоских листа, перпендикулярных оси звукового пучка и перекрывающих его. Вторая граница располагалась на расстоянии порядка длины зоны дифракции ℓ_d от излучающей антенны и отстояла от первой на расстоянии d . При изменении расстояния d между границами от $0.1\ell_d$ до $0.2\ell_d$ происходит обужение поперечного распределения по уровню 0.7 на 25%. Это, как было теоретически показано, обусловлено уменьшением дифракционной расходимости отраженного поля от первой границы и улучшением условий для формирования вторичных параметрических антенн между границам раздела.

При изменении положения второй границы раздела не происходит изменения поперечного распределения отраженного от двух границ раздела акустического поля. Первая граница

находилась на расстоянии $0.8 \ell_d$ от параметрического излучателя, а вторая удалялась от первой на $0.1 \div 0.3 \ell_d$. Очевидно, все изменения должны быть связаны с изменением в поле, отраженном от второй границы раздела. Однако, как было показано при теоретическом рассмотрении, не происходит изменения звукового поля, отраженного от второй границы при изменении ее положения. Это подтвердилось экспериментальными исследованиями.

Из экспериментально полученных результатов видно, что поперечное распределение суммарного отраженного поля от двух границ раздела уже на 10-15%, соответствующего распределения от второй границы, но шире на 10%, чем от первой.

Экспериментально полученные осевые распределения звукового давления аддитивного отраженного поля ВРЧ и составляющих, отраженных от первой и второй границ соответственно показывают, что поле, являющееся суммой отражений от обеих границ раздела, убывает медленнее, других; отраженное от второй границы раздела, убывает быстрее остальных рассматриваемых компонент. Это объясняется уменьшением подкачки энергии в волну разностной частоты источниками, образующимися в пространстве между границами.

Для выяснения характера влияния среды, заключенной между двумя границами раздела, на характеристики отраженного поля в гидроакустический бассейн помещалась кювета из тонкого оргстекла, заполненная глицерином. В кювету введена отражающая стальная пластина, позволяющая менять геометрические характеристики жидкого слоя.

Первая граница раздела располагалась на расстоянии $3 \ell_d$ от поверхности излучателя накачки. Такое расположение границы отражает реальную ситуацию профилирования осадочных структур. Вторая граница отстояла от первой на расстоянии $d=0.1 \ell_d$. При увеличении толщины слоя в два раза с $0.1 \ell_d$ до $0.2 \ell_d$ наблюдается обужение поперечного распределения отраженного поля по уровню 0.7 на 8%. При изменении положения второй границы изменений в отраженном поле не наблюдается. Таким образом, полученные экспериментально результаты с использованием в качестве модельной жидкости глицерина, находятся в качественном соответствии с теоретическими.

В третьей главе проводятся теоретические и экспериментальные исследования методов кепстрального анализа эхосигналов при профилировании слоистых сред с использованием параметрических антенн. Целью исследований является повышение разрешающей способности по дистанции параметрического профилографа.

Как показано в главе 2, наряду с обужением поперечного распределения отраженного поля, ростом его энергетических параметров, эхоимпульсы от границ раздела остаются неразличимыми.

Наличие затухания в среде распространения значительно ослабляет высокочастотную часть спектра многокомпонентных сигналов. Проанализировано использование ЛЧМ - импульсов для зондирования морских осадков. В результате искажения спектра импульса в среде распространения фактическая разрешающая способность намного ниже ожидаемой.

Спектр низкочастотного тонального импульса подвержен меньшему искажению при профилировании слоистой структуры. Применение кепстральной обработки эхосигналов с целью детерминирования границ раздела позволит увеличивать длительность зондирующего импульса. В этом случае повышаются энергетические показатели эхосигнала без потери разрешающей способности.

Отраженный от слоя сигнал можно представить как

$$x(t) = S_B(t) + \alpha S_H(t - t_0), \quad (4)$$

где $S_B(t)$ - отраженный сигнал от верхней границы однородного слоя;

$S_H(t - t_0)$ - отраженный сигнал от нижней границы однородного слоя;

α - коэффициент ослабления.

При использовании параметрических антенн для профилирования донной структуры эхосигнал представляет собой сумму нескольких волн. Как было рассмотрено в главе 2, при наличии двух границ раздела отраженный сигнал записывается в виде (1).

Выражение (1) содержит компоненты волны разностной частоты, отраженной от верхней и нижней границы слоя. Целью кепстральной обработки при профилировании является разделение во временной области эхосигналов от соответствующих границ. С учетом введенных обозначений

$$S_B(t) = P_1(r, z) + P_2(r, z)$$

$$S_H(t) = P_3(r, z) + P_4(r, z) + P_5(r, z) + P_6(r, z), \quad (5)$$

Учитывая, что при работе в ближней зоне присутствуют высокочастотные волны накачки и переходя к единой системе времени, выражение (5) можно записать в виде

$$\begin{aligned} S_B(t) &= P_1(t) + P_2(t) + V_1^2 P_H(t) \\ S_H(t - t_0) &= P_3(t - t_0) + P_4(t - t_0) + P_5(t - t_0) + \\ &+ P_6(t - t_0) + W_1^4 V_2^2 P_H(t - t_0) \end{aligned}, \quad (9)$$

где $P_H(t)$, $P_H(t - t_0)$ - амплитуды звукового давления волн накачки и отраженных от нижней границы, соответственно.

Импульсная характеристика однородного слоя толщиной h запишется в виде

$$\dot{R}(\omega) = \dot{R}_B(\omega) + \dot{R}_H(\omega)e^{-i2\omega h/v}, \quad (6)$$

где $\dot{R}_B(\omega)$, $\dot{R}_H(\omega)$ - частотные характеристики, соответствующие прохождению верхней и нижней границы;

v - скорость распространения звуковых волн в слое.

Если $S(t)$ - зондирующий сигнал, а $S_s(t)$ - его спектр, $x(t)$ - отраженный сигнал, а $S_x(t)$ - его спектр, то

$$S_x(\omega) = \dot{R}(\omega) \cdot S_s(\omega), \quad (7)$$

Кепстр мощности отраженного сигнала $x(t)$ с учетом (7) имеет вид

$$\begin{aligned} c(x(t)) &= \int_0^\infty \ln[S_x^2(\omega)] e^{i\omega t} d\omega = \\ &= \int_0^\infty \ln[R^2(\omega)] e^{i\omega t} d\omega + \int_0^\infty \ln[S_s^2(\omega)] e^{i\omega t} d\omega \end{aligned}, \quad (8)$$

Так как водная среда слабо дисперсионная, а отражение происходит мгновенно, можно утверждать что, момент прихода слагаемых $S_B(t)$ будет одним и тем же, т.е. для $P_1(t)$, $P_2(t)$, $P_H(t)$ соблюдается временной синхронизм. Аналогично для слагаемых выражения $S_H(t - t_0)$. Таким образом, имеем дело с двумя импульсами, обладающими одинаковыми спектральными

характеристиками. Применяя теорему запаздывания к сигналу $S_H(t - t_0)$, в спектральной области можно записать

$$\begin{aligned} F_H(j\omega) &= \exp(-j\omega t_0)(F_3(j\omega) + F_4(j\omega) + F_5(j\omega) + \\ &+ F_6(j\omega) + W_1^4 V_2^2 F_H(j\omega)) \end{aligned}$$

Множитель $\exp(-j\omega t)$ изменяет фазовый спектр сигнала $S_H(t - t_0)$, что соответствует сдвигу сигнала во временной области. Проведенный теоретический анализ моделированных эхоимпульсов позволяет сделать вывод о том, что наличие в эхосигналах высокочастотной компоненты не затруднит вычисление кепстров по следующим причинам:

1. Время запаздывания между сигналами разностной частоты и высокочастотными сигналами накачки одинаково.
2. Спектры сигналов накачки убывают пропорционально $1/\omega$, что значительно упрощает вычисление кепстра.
3. Кепстры сигналов накачки сосредоточены в начале оси кепстрального времени.
4. Применение традиционно используемых в нелинейной гидроакустике фильтров низкой частоты с подавлением исходных волн накачки на 60 дБ, позволяет практически полностью исключить влияние кепстра высокочастотных волн накачки.

Из вышеизложенного видно, что возможно применение кепстральной обработки эхосигналов в нелинейной гидроакустике при профилировании слоистой структуры.

Теоретически и экспериментально исследованы различные алгоритмы вычисления кепстров эхосигналов при профилировании с использованием параметрических антенн. Проведен анализ вероятностных характеристик обнаружения при введении кепстральной обработки эхосигналов. Показано, что кепстр мощности эхосигналов параметрической антенны более помехоустойчив, чем при локации с использованием линейных акустических антенн. Это обусловлено низким уровнем реверберационной помехи при зондировании параметрическими антеннами. Особенности методики и условия проведения экспериментальных исследований кепстров аналогичны использовавшимся при экспериментальном исследовании пространственных характеристик отраженного поля от двух границ раздела.

Экспериментальная установка для исследования кепстров эхосигналов представлена описана в главе 2, и дополнена аналого-цифровым преобразователем, анализатором спектра и устройством обработки эхосигналов, построенном на IBM PC586.

Анализ расчетных и экспериментально полученных зависимостей позволяет сделать следующие выводы:

- кепстр низкочастотного эхоимпульса позволяет однозначно определить момент прихода отражения от второй границы раздела при отношении амплитуды сигнала от первой границы к амплитуде сигнала от второй границы меньшем 30 дБ;
- кепстр низкочастотного эхоимпульса позволяет однозначно определить момент прихода отражения от второй границы раздела при перекрытии эхоимпульсов меньшем 90%;
- однозначно можно определить момент прихода отражения от второй границы раздела при отношении амплитуды сигнала, отраженного от второй границы раздела, к амплитуде шума большем 2;
- введение обработки эхоимпульса прямоугольным окном позволяет существенно повысить помехоустойчивость кепстра эхоимпульса;
- осциллирующий характер зависимости амплитуды кепстрального пика от величины задержки отраженного от второй границы раздела сигнала объясняется пространственным набегом фазы отраженного сигнала от второй границы раздела.
- введение фильтрации высокочастотных волн позволяет очистить кепстр низкочастотного эхоимпульса от кепстра исходных волн накачки;
- дополнение эхоимпульса нулевыми значениями приводит к увеличению амплитуды кепстра и увеличению однозначности определения момента прихода отражения от второй границы раздела;
- помехоустойчивость кепстрального анализа эхосигналов параметрической антенны выше, чем при использовании линейных антенн, что объясняется особенностями характеристик параметрических антенн.

В четвертой главе рассматриваются основные принципы построения и структурные схемы параметрического профилографа для профилирования слоистой с учетом влияния границ раздела в области нелинейного взаимодействия на характеристики параметрической антенны. Рассматривается техническая реализация кепстральной обработки эхосигналов для повышения разрешающей способности. Приводятся основные технические

характеристики разработанного параметрического профилографа и результаты исследования приемной и параметрической излучающей антенн.

При разработке алгоритма обработки гидроакустической информации, получаемой при профилировании морских осадков учтены результаты теоретического и экспериментального исследования. На рис.1 изображен кепстр эхосигнала, отраженного от двух границ раздела. Расстояние между границами составляло 10 см. Длительность зондирующего импульса $\tau=1\text{мс.}$, частота генерируемой параметрической антенной звуковой волны $F=10\text{кГц.}$ Амплитуда эхоимпульса от второй границы равна 15% от амплитуды отраженного сигнала от первой. Как видно из (рис. 1), удается разрешить две границы раздела в пространстве. Для достижения подобного результата без вычисления кепстра мощности эхосигнала, необходимо излучать импульс с длительностью $\tau=0.15\text{мс.}$, а это приведет к значительному снижению энергетических параметров импульса.

Достоверность исследований подтверждена результатами натурных испытаний экспериментального образца.

В заключении сформулированы основные результаты выполненных исследований и общие выводы по работе, подтверждающие целесообразность учета влияния слоистой структуры в области нелинейного взаимодействия на пространственные характеристики отраженного поля и применения кепстральной обработки для повышения разрешающей способности по дистанции.

$C[S(t)]$

отн.

ед.80

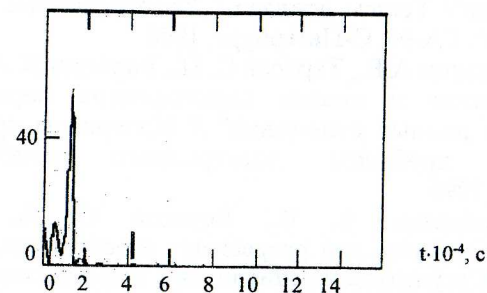


Рис.1 Кепстр эхосигнала, отраженного от двух границ раздела.

Основные результаты работы

- проведен системный анализ особенностей работы параметрического профилографа при вертикальной схеме профилирования слоистой структуры;
- составлена математическая модель, позволяющая исследовать пространственные характеристики отраженного поля параметрической антенны от системы из n слоев (или границ раздела);
- проведены теоретические и экспериментальные исследования влияния границ раздела на отраженное поле параметрической антенны в квазинепрерывном режиме излучения; которые показали, что происходит обужение поперечного распределения отраженного поля при приближении к излучателю ближней к нему границы и оно остается постоянным при изменении положения дальней границы;
- разработана экспериментальная установка, позволяющая моделировать слоистую структуру и исследовать характеристики отраженного поля параметрической антенны;
- теоретически и экспериментально показана возможность применения методов кепстрального анализа эхосигналов при профилировании слоистых сред с использованием параметрических антенн с целью повышение разрешающей способности параметрического профилографа;
- разработан макет параметрического профилографа для исследования слоистой структуры.

По материалам диссертации опубликованы следующие работы:

1. Тарасов С. П., Бросалин А. В. "Параметрический гидроакустический профилограф для исследования морских донных осадков" / Тезисы доклада " Конверсионные технологии в гидроакустике", ГА-96, С-Петербург, 1996
2. Бросалин А.В., Тарасов С. П., Воронин В. А., Борисов С. А. "Исследование и анализ характеристик параметрического профилографа донных отложений" // Материалы третьей МНТК "Актуальные проблемы электронного приборостроения", Новосибирск, 1996.
3. Бросалин А. В., Борисов С. А. Применение кепстрального анализа для разрешения эхосигналов. // Сб. тезисов докл. "III ВНК студентов и аспирантов " Техническая кибернетика, радиоэлектроника и системы управления". Таганрог, ТРТУ, 1996.
4. Борисов С.А., Бросалин А.В. Формирователь сигналов для экологического локатора сред. Тезисы доклада в сборнике МНТК Гагаринские чтения 1995, г. Москва.

5. Тарасов С. П., Бросалин А. В. Применение сложных сигналов при профилировании морских донных осадков. // Сб. тезисов докл. НТК " Физика и техника ультразвука", ЛЭТИ, С.-Петербург, 1997.

В работах написанных в соавторстве, личный вклад автора заключается в следующем: в работе [1] автором проведен теоретический анализ энергетических характеристик параметрического профилографа при зондировании различных донных отложений; [2] - исследованы основные характеристики параметрических антенн при локации донных отложений; [3] - проведено моделирование эхосигналов от жидких слоев и вычислены их кепстры мощности; [4] - разработана структурная схема универсального формирователя сигналов; [5] - проведен анализ использования ЛЧМ - импульсов и кепстрального анализа для повышения разрешающей способности параметрического профилографа