

УДК 531.46.072; 551.46.083:534

О ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ИЗЛУЧАТЕЛЯХ ДЛЯ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

© В.А. Александров, В.Б. Железный, Д.Б. Островский, С.А. Смирнов, 2004

ФГУП ЦНИИ «Морфизприбор», г. Санкт-Петербург

Розглянуто проблеми практичного використання параметричних випромінюючих антен для океанографічних застосувань. Ці проблеми обумовлені відсутністю фундаментальних підходів до визначення характеристик параметричних випромінювачів, пов'язаних із проявленням додаткових нелінійних спотворень у системі „генератор - акустичний випромінювач” та специфічним характером акустичних вимірювань в цій області. На основі практичного досвіду та теоретичних моделей можливі підходи для вирішення цих проблем розглянуто для випадків використання параметричних випромінювачів при дослідженні розповсюдження звуку в океані та профілюванні донних відкладів.

Рассмотрены проблемы практического использования параметрических передающих антен для океанографических применений. Эти проблемы обусловлены отсутствием фундаментальных подходов к определению характеристик параметрических излучателей, связанных с проявлением дополнительных нелинейных искажений в системе «генератор – акустический излучатель» и специфическим характером акустических измерений в этой области. На основании практического опыта и теоретических моделей возможные подходы для решения этих проблем рассмотрены для случаев использования параметрических излучателей при исследовании распространения звука в океане и профилировании донных осадков.

The problems of the parametrical transmitting antennae application for the oceanographic research are considered. These problems are caused by the lack of fundamental approaches to the determination of the parametrical oscillators potentialities, by the manifestation of additional non-linear distortions in the system «generator - acoustic oscillator» and by the specific character of the acoustic measurements in this field. On the base of practical experience and theoretical models the approaches for solving these problems are suggested for the case of parametrical oscillators application for investigation of the sound propagation in the ocean and for the profiling of sea sediments.

В 70-е годы были созданы первые параметрические излучающие антенны (ПИА), предназначенные для исследования океана и донных осадков [1,2]. Практически сразу разработчики столкнулись с проблемами, к которым можно отнести: неадекватность теоретических моделей ПИА и экспериментальных результатов; неэффективную работу ряда ПИА из-за неудачного выбора генераторного устройства (ГУ); проведение измерений без учета специфики нелинейных явлений; отсутствие базового подхода по определению сфер применения ПИА. Отмеченные проблемы не потеряли актуальности, несмотря на появление промышленных параметрических профилографов [2].

Исследования методов измерений, конструирования и применения ПИА, начатые в ЦНИИ "Морфизприбор" в 1978 г., позволили определить пути решения отмеченных проблем. Был развит комплексный подход к вопросам создания устройств с ПИА как к единым системам, в которых объединяются источники параметрического излучения, генераторные устройства, приемные антенны, устройства обработки и регистрации информации. Апробирование подхода проводилось на базе ряда систем с ПИА, параметры которых приведены в табл. Здесь f_0 - средняя частота накачки $f_0 = (f_1 + f_2)/2$; f_1, f_2 - парциальные первичные частоты; W - максимальная эффективная акустическая мощность на первичных частотах; ΔF - диапазон разностных частот $F = |f_1 - f_2|$; K - ключевые усилители мощности, L - ламповые линейные усилители, T - транзисторные линейные усилители; раскрыв излучателей - плоский.

Созданные системы были ориентированы на решение задач океанологических исследований: распространения в океане узких звуковых пучков (системы 6-10), определения параметров морского дна (системы 1-6); изучения звукорассеивающих слоев и биологических ресурсов (системы 1-8); профилирования донных осадков (системы 1-9).

Таблиця. Характеристики систем с ПИА

Номер системы	Параметры системы				
	f_0 , кГц	Размер источника, м	W, кВт	Тип ГУ	ΔF , кГц
1	120	$\varnothing 0,21$	0,7	К	0,2÷30
2	115	$\varnothing 0,43$	1,7	Т	0,1÷25
3	105	$\varnothing 0,36$	2,5	Т	0,1÷25
4	100	$\varnothing 0,31$	0,3	Т, Л	0,3÷25
5	41	0,2×1,6	8	Л	0,3÷5
6	19	$\varnothing 0,9$	12	К, Л	0,3÷6
7	15	0,9×1,3	5÷20	К, Т, Л	0,3÷4
8	11	0,4×1,6	12	Л, Т	0,1÷2
9	8	2×2	100	Л	0,1÷2
10	3	2×6	60	К, Т	0,1÷1

Важной проблемой использования систем с ПИА является задача построения базового подхода, аналогичного подобному подходу в традиционных гидроакустических средствах [3]. Для его разработки следует установить условия работы системы с ПИА, модель поля ПИА с учетом физических ограничений, вид уравнения дальности.

Для развития базового подхода предлагается модель оценки параметров ПИА при профилировании морских осадков и исследовании распространения звука в океане:

$$P_F = \frac{\sqrt{2\pi\varepsilon} \cdot F \cdot P_{f1} \cdot P_{f2}}{\rho c^3} \ln(R/R_0), \quad (1)$$

$$D_F(\varphi, \psi) = D_{f1}(\varphi, \psi) \cdot D_{f2}(\varphi, \psi), \quad (2)$$

$$\sigma = \frac{2\sqrt{2\pi\varepsilon} \cdot f \cdot (P_{f1} + P_{f2})}{\rho c^3} (1.4 + \ln(R/R_0)), \quad (3)$$

$$R > 1.5R_0, R < \frac{1}{2\alpha_f}, R < h, R < r, 2\pi R_0 > \frac{c}{F}, \Delta D_F < (7^\circ \dots 10^\circ), \sigma(R) < 2, \quad (4)$$

$$40\lg(h+L) + \sum_i (K_{i-1,i} + K_{i,i-1} + 2\beta_i(F)l_i) = (20\lg P_F + 120) + \gamma(F) + T - M - N(F) - 10\lg \delta F, \quad (5)$$

$$20\lg(r) + \beta_0(F)r = (20\lg P_F + 120) + A + \gamma(F) - M - N(F) - 10\lg \delta F, \quad (6)$$

где P_F, P_{f1}, P_{f2} - приведенные к 1 м эффективные давления на частотах F, f_1 и f_2 соответственно; ε - параметр нелинейности, ρ - плотность и c - скорость звука в воде; R - эффектив-

ный размер зоны формирования сигнала частоты F ; $R_0 = f_0 S / c$; S - площадь источника; α_f - коэффициент затухания на частоте f_0 в воде; h - глубина места; D_F, D_{f_1}, D_{f_2} - характеристики направленности (ХН) на частотах F, f_1 и f_2 соответственно; φ, ψ - угловые координаты; ΔD - ширина ХН; $\beta_i(F)$ - коэффициент поглощения на частоте F в i -м слое; $\beta_0(F)$ - коэффициент поглощения на частоте F в воде; L - глубина профилирования; l_i - толщина i -го слоя; $K_{i-1,i}, K_{i,i-1}$ - потери на границах слоев (слой $i=0$ - вода); M - порог распознавания; T - сила цели (слоя) на глубине L ; $\gamma(F)$ - коэффициент концентрации в приеме; $N(F)$ - уровень помехи (дБ относительно 1 мкПа) в точке приема на частоте F ; δF - оптимальная полоса приемного тракта; σ - параметр для оценки режима насыщения первичных волн; r - дистанция распространения; A - аномалия. Все слагаемые в выражениях (5) и (6) исчисляются в дБ.

В системе (1 - 6) формулы (1, 2) соответствуют упрощенному описанию характеристик ПИА по методу волновых фронтов в режиме до насыщения [4] первичных волн (3, 4), а уравнения дальности (5, 6) получены по аналогии с подходом [3] при параметрах характеристики направленности (2, 4). Условия (4) ограничивают параметры, для которых рассчитывается поле ПИА в дальней зоне (1), которое дано в приближенной форме для удобства быстрой оценки возможностей в случаях профилирования донных структур (1, 5) и распространения звуковых пучков в океане (1 - 4, 6). Выражение (1) для определения P_F отличается от представленного в [1] решения по методу Хохлова-Заболотной-Кузнецова. Однако при измерениях параметров ПИА с учетом [5] на дистанциях $r > 3Sc/f_0$ наблюдается хорошее совпадение экспериментальных результатов с (1) при $f_0 \leq (150...200)$ кГц.

Особой проблемой при создании и испытаниях параметрических систем является задача обеспечения формирования в воде спектров сигналов накачки. Применение традиционных усилителей (класса А, В) в одноканальном или двухканальном режиме формирования сигналов накачки [1] может в ряде случаев приводить к появлению паразитных нелинейных составляющих в системе "генератор-излучатель" с частотами $nF, f_1 \pm nF, f_2 \pm nF, n = 1, 2, 3, \dots$. При этом каждая часть системы "генератор-излучатель" может иметь незначительные нелинейные искажения, а система в целом будет явно нелинейной. Паразитные искажения приводят к двум процессам: снижению качества формирования полей разностной частоты в водной среде (появление составляющих $f_1 \pm nF, f_2 \pm nF$ может значительно снизить уровень поля параметрического излучения на разностной частоте) и ухудшению ХН ПИА за счет прямого излучения источником сигналов частоты F . Примеры ХН для ПИА (п. 8 табл.) при отсутствии паразитных составляющих и при их наличии приведены на рис. 1 и 2 соответственно.

Измерения выполнялись на полигоне ЦНИИ «Морфизприбор», расстояние между ПИА и приемником составляло 125 м, $F = 1$ кГц, $f_0 = 11$ кГц, давление на парциальных частотах накачки $P_f = 500$ кПа·м. Ухудшение качества ПИА (пунктир, рис. 2) недопустимо для океанографических систем, обеспечивающих точные исследования. С целью снижения уровня паразитных нелинейных искажений были предложены методы формирования сигналов накачки с использованием ключевых усилителей мощности с амплитудной модуляцией посредством дефазирования. Полученные спектры сигналов накачки на входе излучателя (п. 6 табл.) приведены на рис. 3 для случаев формирования сигналов накачки несбалансированным ламповым ГУ (рис. 3а) и ключевым ГУ (рис. 3б). Из сопоставления этих данных видно, что разработанное ключевое ГУ обеспечивало в системе "генератор - излучатель" более высокое качество спектра первичного сигнала.

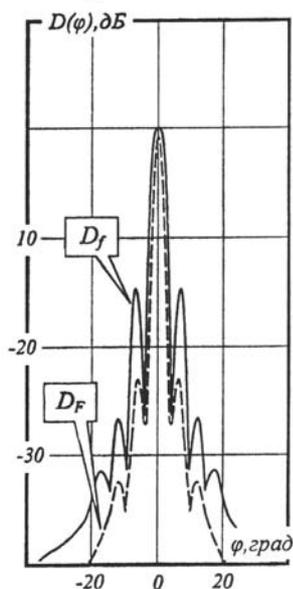


Рис. 1

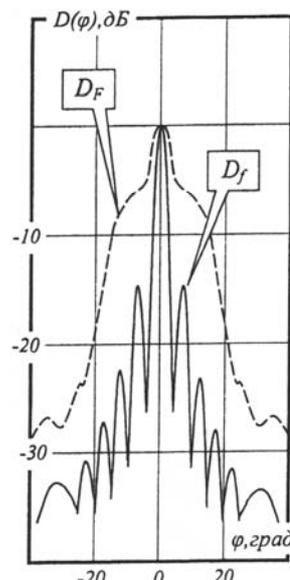


Рис. 2

Измерения первичных и вторичных полей ПИА проводились по методикам, разработанным с учетом [5], в бассейне ЦНИИ «Морфизприбор» с базой до 40 м, и в полигонных условиях с базой от 100 до 800 м. При измерениях применялись тестированные на собственные нелинейные искажения тракты приема с бигармоническим динамическим диапазоном до 140 дБ. Такие условия измерений обеспечивали данные, пригодные для оценки возможностей океанографических систем ПИА.

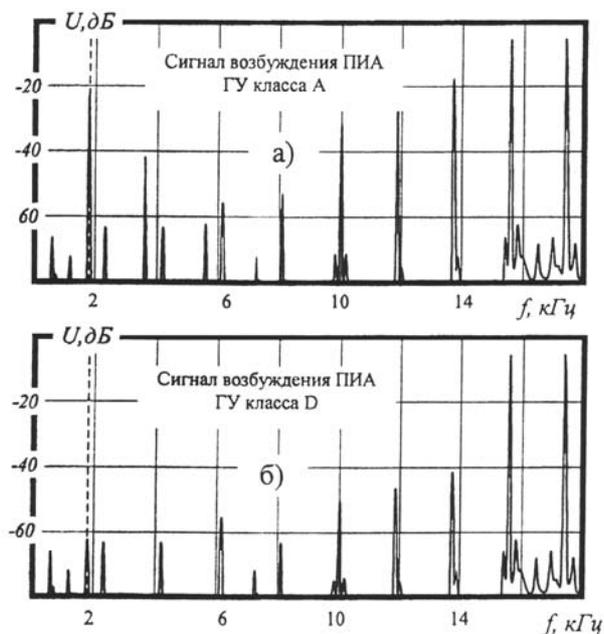


Рис. 3

Указанные особенности были учтены при разработке параметрического профилографа для Балтийского моря ПГИ-120 (п.1 табл.). При параметрах системы: диаметр излучателя 0,21 м; прием на антенну с апертурой 1 м²; ключевое ГУ класса D, максимальная акустическая мощность 500-700 Вт; длительность сигнала 20 мс - обеспечивалась потенциальная глубина профилирования слоев до 20-40 м при h до 200 м на частотах 2-5 кГц.

Характеристики ПИА в составе ПГИ-120 при $W = 140$ Вт, измеренные на дистанции 35 м, представлены на рис. 4 - ХН при $F = 4$ кГц и на рис. 5 - зависимости $P_F(F)$ и $\Delta D_F(F)$.

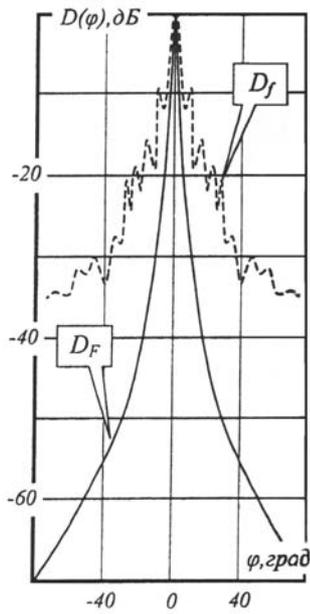


Рис. 4

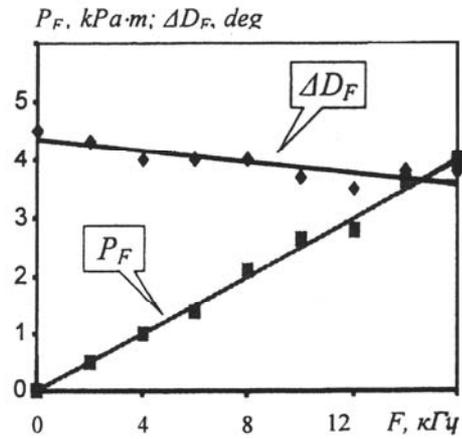


Рис. 5

Литература

1. Новиков Б.К., Руденко О.В., Тимошенко В.И. Нелинейная гидроакустика. Л., Судостроение, 1981, 264 с.
2. Новиков Б.К., Тимошенко В.И. Параметрические антенны в гидролокации. Л., Судостроение, 1990, 256 с.
3. Урик Р.Дж. Основы гидроакустики. Л., Судостроение, 1978, 448 с.
4. Железный В.Б. Параметрическое взаимодействие на сферических и цилиндрических волнах // Прикладная акустика (Таганрог), 1985, вып. 11, с.23-26.
5. Железный В.Б., Островский Д.Б. О совершенствовании схем измерения характеристик параметрического излучателя // Судостроительная промышленность, сер. Общие вопросы судостроения. Стандартизация и метрология, 1992, вып. 13, с.59-64.