

УДК 681.883.482

УТОЧНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НАПРАВЛЕННОСТИ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК ДОПЛЕРОВСКИХ ЛАГОВ

© А.П. Мартынюк, Е.В. Казакова, 2009

АО НИИ “RIF-ACVAAPARAT”, г. Бельцы, Молдова

Наводяться результати розрахунків направленості фазованих антенних решіток доплерівських лагів в активному напівпросторі. Надано оцінку рівнів додаткових максимумів.

Приводятся результаты расчетов характеристик направленности фазированных антенных решеток доплеровских лагов в активном полупространстве. Дана оценка уровней дополнительных максимумов.

Results of calculation of directivity patterns of Doppler log phased arrays in active half-space are given. An evaluation of side-lobe levels is given.

ДОПЛЕРОВСКИЙ ЛАГ, ГИДРОАКУСТИЧЕСКАЯ АНТЕННА, ФАЗИРОВАННАЯ АНТЕННАЯ РЕШЕТКА, ХАРАКТЕРИСТИКА НАПРАВЛЕННОСТИ, СКОРОСТЬ ЗВУКА

Гидроакустические антенны являются одной из основных составных частей доплеровского лага. Их параметры в значительной степени определяют структуру, алгоритмы функционирования и пользовательские характеристики лагов. Именно по этой причине при проектировании доплеровских гидроакустических лагов анализу характеристик антенн уделяется большое внимание.

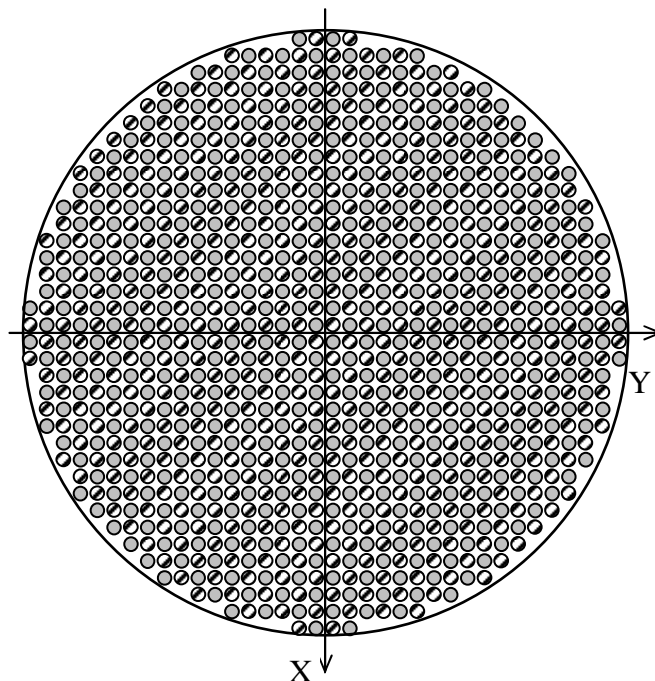
В современных доплеровских лагах чаще применяют совмещенные приемопередающие антенны. Антенное устройство формирует на излучении и приеме многолучевую характеристику направленности (ХН) с заданной ориентацией лучей.

По способу формирования ХН антенны, используемые в лагах, подразделяются на синфазные и переменнo-фазные – фазированные антенные решетки (ФАР) [1]. Синфазные антенны содержат несколько плоских преобразователей, каждый из которых формирует один акустический луч, направленный перпендикулярно к активной поверхности. Ориентацию лучей осуществляют путем установок преобразователей под соответствующими углами в корпусе антенны. Главное достоинство таких антенн – простота.

Помимо синфазных антенн получили широкое распространение антенны в виде ФАР. В таких антеннах с одной активной поверхности можно сформировать несколько некомпланарных лучей путем создания соответствующего фазового распределения на элементах антенны.

Преимущество ФАР: меньшие габариты; не требуется обтекатель, так как антенна имеет плоскую форму и может размещаться заподлицо с корпусом судна; независимость доплеровской частоты от скорости звука. Важным требованием, предъявляемым к антеннам обоих типов является низкий уровень боковых лепестков и ореола.

С целью совершенствования ФАР в части снижения уровня боковых лепестков и ореола ХН были проведены расчеты, уточняющие полевые характеристики антенн. Моделированию подвергалась многоэлементная антенна, в которой для получения четырехлучевой ХН типа Янус имеются две фазированные решетки, изображенные на рис. 1.



- 484 елемента первой ФАР, формирующие пару лучей в плоскости X
- 484 элемента второй ФАР, формирующие пару лучей в плоскости Y

Рис. 1 – Структура антенны, состоящей из двух фазированных решеток, формирующих пару лучей в плоскости X и пару лучей в плоскости Y:

Структура и фазовое распределение антенны из 36 горизонтальных и 36 вертикальных рядов элементов для формирования одной пары лучей представлена на рисунке 2.

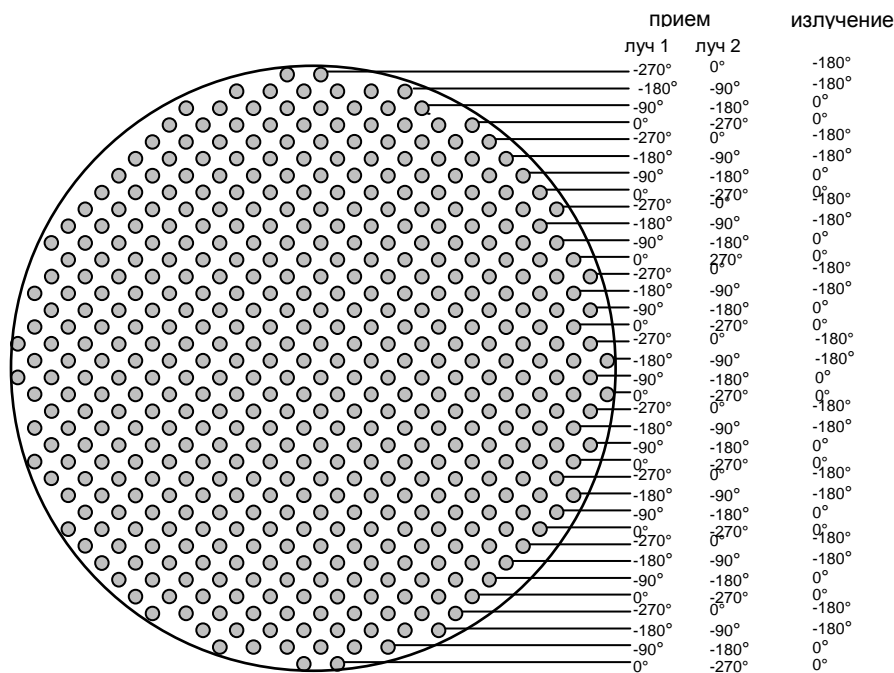


Рис. 2 – Фазированная антенная решетка, для каждого ряда элементов указаны фазы возбуждения в режиме приема и излучения

Антенная решетка имеет периодическую структуру.

Фазы возбуждения элементов первой фазированной решетки одинаковы в пределах каждого горизонтального ряда с 1 по 36 и принимают значения:

в режиме приема: $-270^\circ, -180^\circ, -90^\circ, 0^\circ, -270^\circ, -180^\circ, -90^\circ, 0^\circ$ и так далее для прямого направления и $0^\circ, -90^\circ, -180^\circ, -270^\circ, 0^\circ, -90^\circ, -180^\circ, -270^\circ$ и так далее для противоположного направления,

в режиме излучения: $-180^\circ, -180^\circ, 0^\circ, 0^\circ, -180^\circ, -180^\circ, 0^\circ, 0^\circ$ и так далее.

Традиционно оценка уровня дополнительных максимумов (ДМ) уровня ореола ХН производилась в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях, в которых лежат основные максимумы (ОМ) янусной ХН при некотором значении азимутального угла φ , отсчитываемого от положительного направления оси X на рис. 1. Типичные ХН в декартовой системе координат, где по оси абсцисс откладываются значения угла θ в угломестной плоскости, а по оси ординат значения ХН ФАР $R(\theta)$ имеют вид, представленный на рис. 3 и 4, на рис. 3 – расчетные ХН, на рис. 4 – экспериментально снятая ХН. На рис. 3 пунктиром показана ХН одного круглого элемента диаметром D , рассчитываемая по формуле:

$$R_{el} = \frac{2J_1\left(\frac{\pi D}{\lambda} \sin \theta\right)}{\frac{\pi D}{\lambda} \sin \theta} \quad (1)$$

где J_1 – цилиндрическая функция Бесселя первого порядка.

Математическая модель ХН антенной решетки строилась следующим образом.

Для удобства расчета одной фазированной решетки, изображенной на рис. 1, ее топология дополняется до прямоугольной решетки элементами с амплитудами возбуждения, равными нулю [2]. Полученная прямоугольная решетка из 36x36 элементов, изображена на рис. 5.

Характеристика направленности прямоугольной решетки из N рядов и M столбцов рассчитывается по формуле:

$$R(\theta, \varphi) = R_{el} \cdot \left\{ \sum_{n=1}^{n=N} \sum_{m=1}^{m=M} \left\{ A_{nm} e^{-j\psi_{nm}} e^{-jk[(n-1)d_x \sin \theta \cos \varphi + (m-1)d_y \sin \theta \sin \varphi]} \right\} \right\} \quad (2)$$

где A_{nm} – амплитуда возбуждения элемента с координатами n, m ;

ψ_{nm} – фаза возбуждения элемента с координатами n, m ;

k – волновое число;

d_x, d_y – расстояния между центрами элементов в столбцах и рядах соответственно.

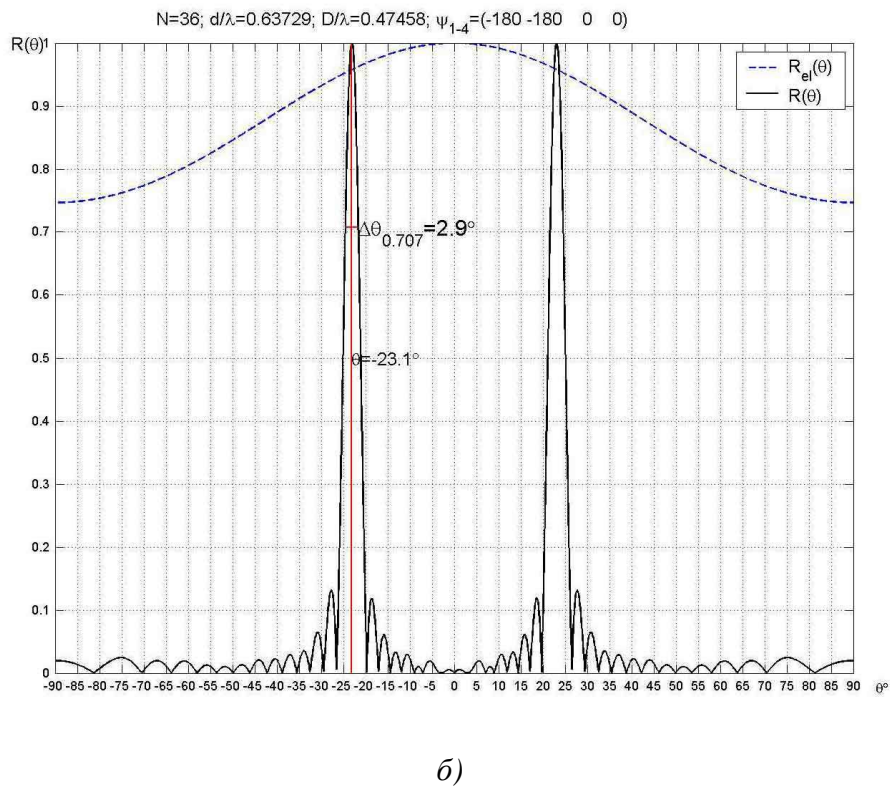
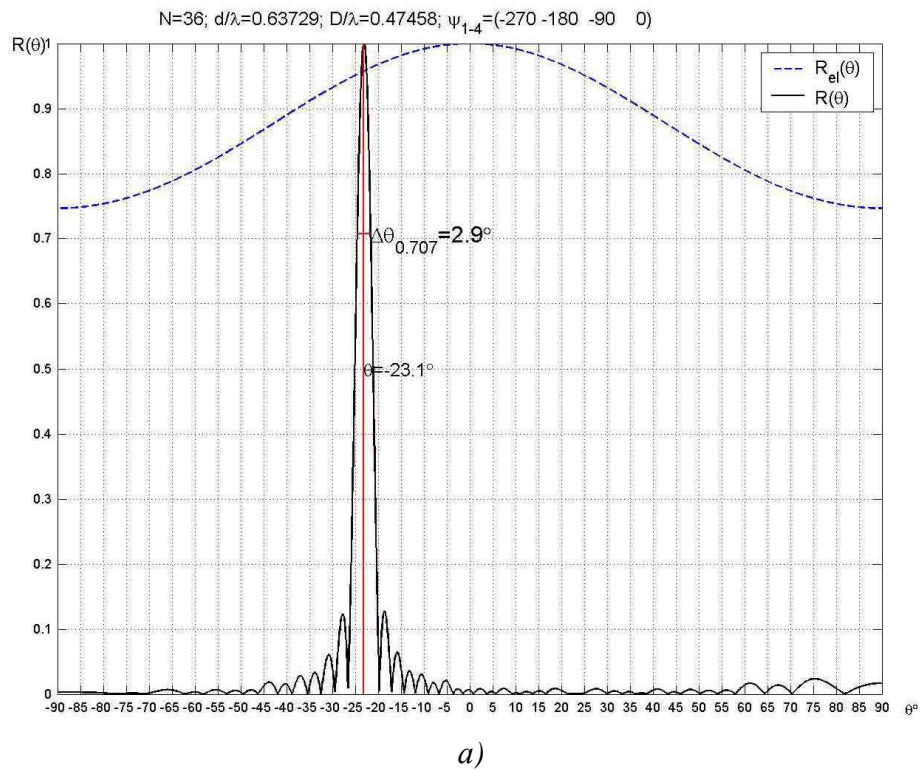


Рис. 3 – Характеристика направленности первой фазированной решетки в режиме приема (а) и излучения (б) в плоскости основных максимумов, $\varphi=0^\circ$

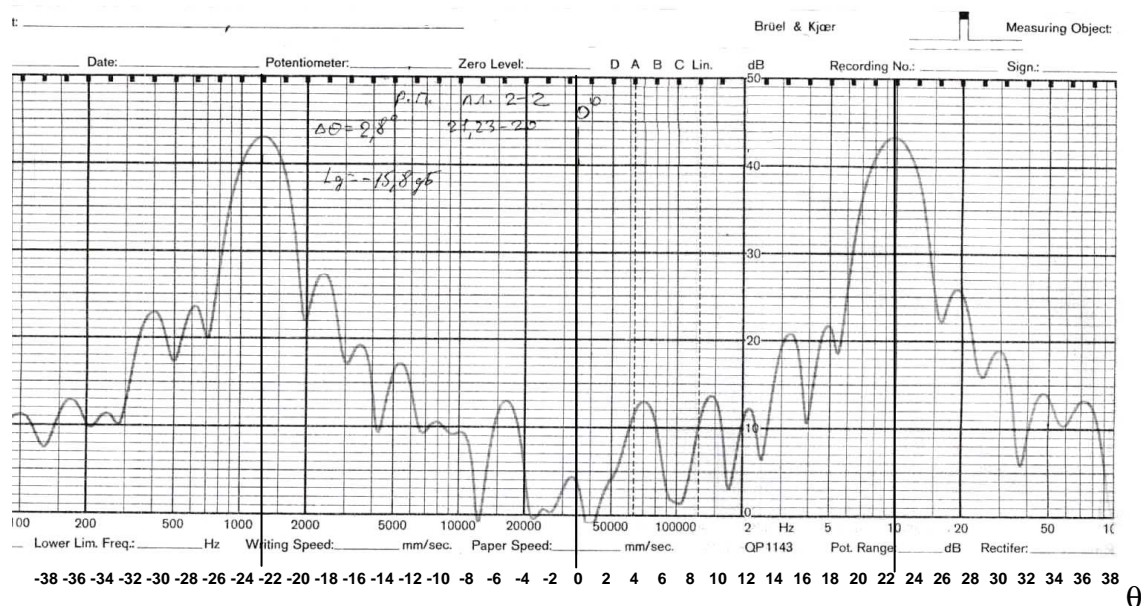


Рис. 4 – Вид експериментально снятой ХН в плоскости основных максимумов

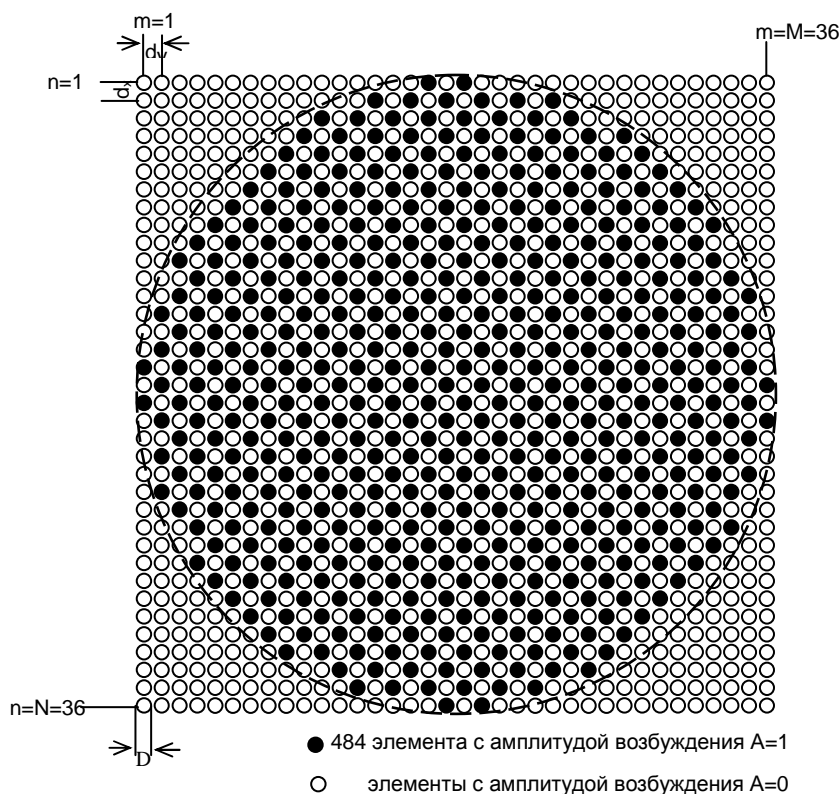


Рис. 5 – Распределение элементов анализируемой модели ФАР

Начало отсчета координат элементов находится на пересечении линий, проходящих через геометрические центры крайнего левого и верхнего рядов элементов. Расчет ХН производился по формулам (1) и (2) с использованием среды для математических расчетов MATLAB [3]. Результаты расчетов представлены на графиках на рис. 6. Для получения трехмерных графиков характеристик направленности $R(\theta, \varphi)$ по оси X откладывались

значення $\sin\theta \cos\varphi$, по осі Y відкладаються значення $\sin\theta \sin\varphi$, по осі Z відкладаються відповідні нормовані значення характеристики направленості $R(\theta, \varphi)$.

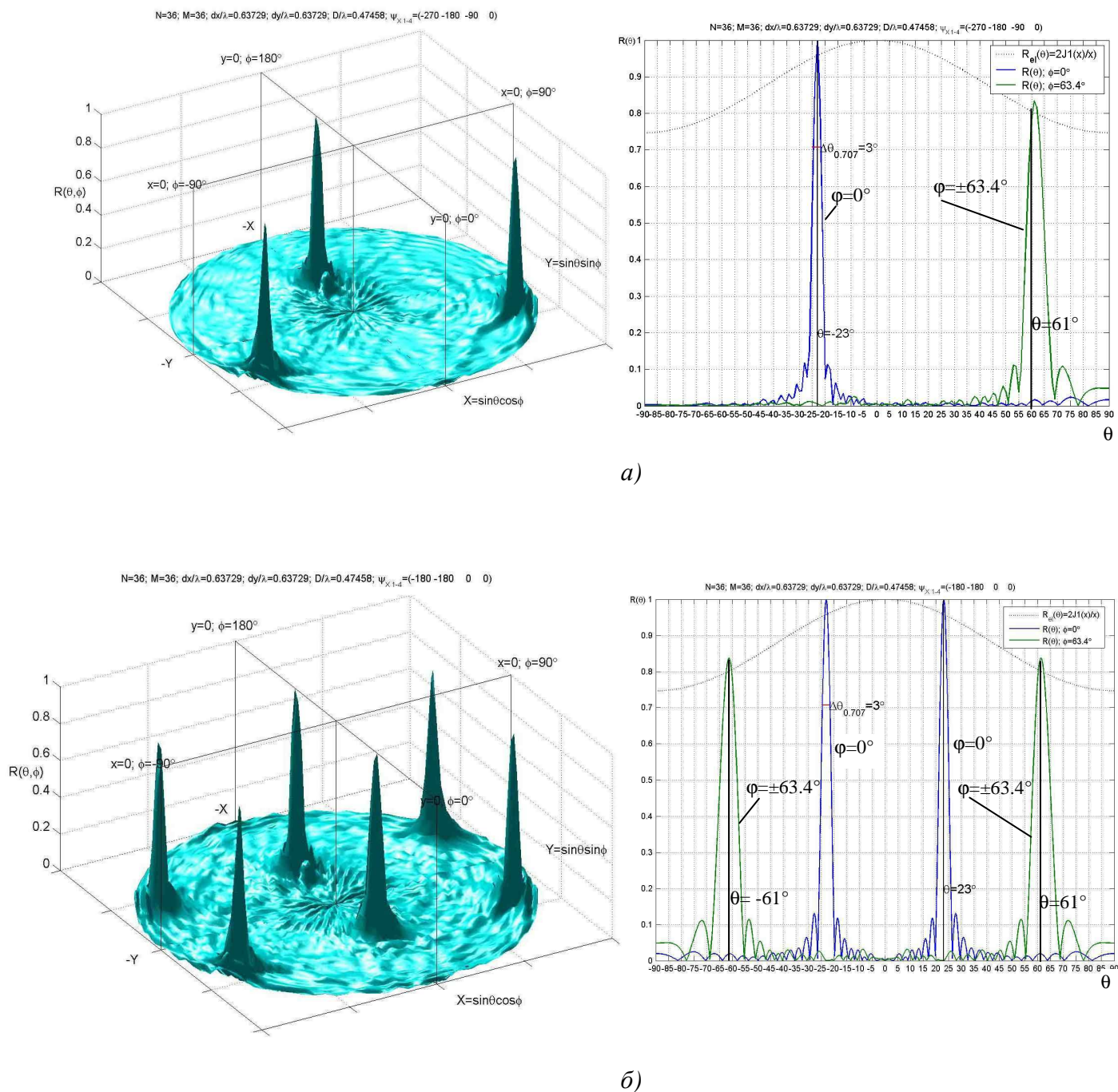


Рис. 6 – Характеристика направленности во всем активном полупространстве первой фазированной решетки в режиме приема для прямого луча (а), в режиме излучения (б)

Оценка ХН во всем активном полупространстве выявила наличие дополнительных максимумов в плоскостях под углом $\varphi=63,43^\circ$ и $\varphi=-63,43^\circ$ к плоскости основного максимума и углом $\theta=61^\circ$ к нормали к активной поверхности антенны. На рис. 7 представлен результат расчета характеристики направленности антенны с использованием двух решеток,

формирующих характеристики направленности в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях.

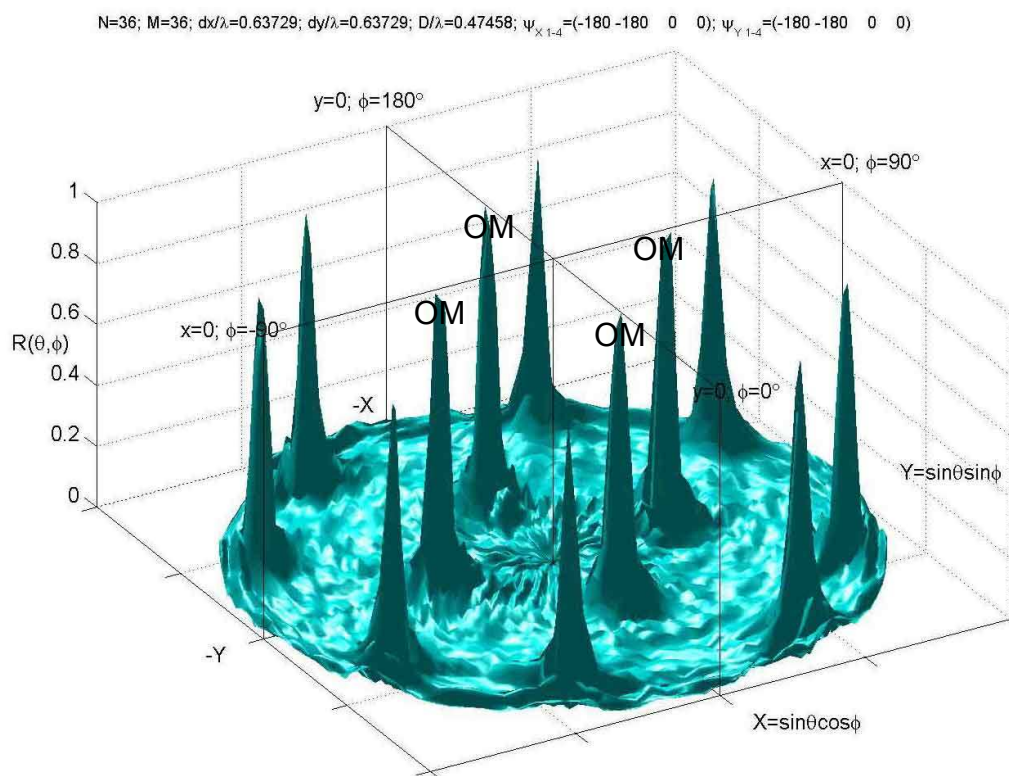


Рис. 7 - Характеристика направленности антенны формирующей характеристики направленности в двух взаимно перпендикулярных плоскостях с использованием двух ФАР

Из рис. 7 видно, что помимо четырех лепестков ОМ ХН фазированная антенная решетка формирует еще восемь лепестков ДМ, каждый из которых по уровню составляет 0,8 от любого из основных максимумов.

Экспериментально снятая ХН реальной антенны в одной из плоскостей ДМ представлена на рис. 8.

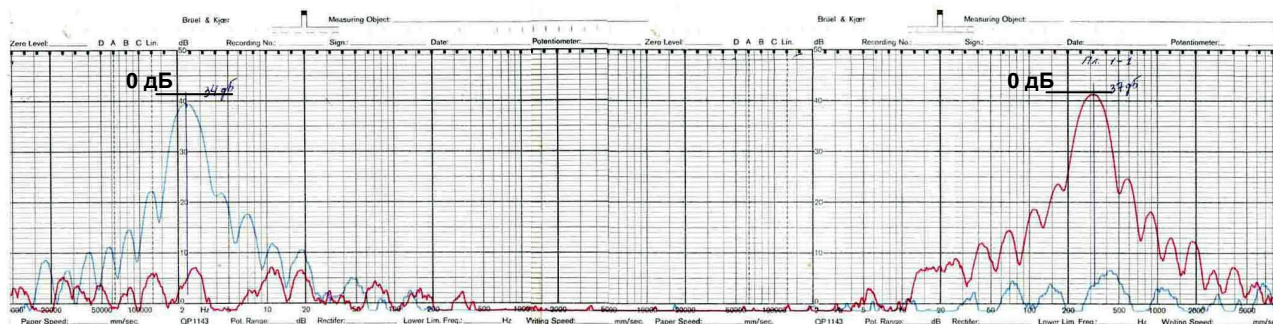


Рис. 8 – Экспериментально снятая ХН в одной из плоскостей выявленных ДМ

В результате моделирования полевых характеристик ФАР во всем активном полупространстве можно сделать следующие выводы:

1. В “нерабочих” плоскостях ХН выявлены ДМ.
 2. На каждый ОМ приходится два ДМ, общее количество ДМ – 8.
 3. Уровень ДМ составляет 0,8 от ОМ ХН. Экспериментально снятая ХН в одной из плоскостей ДМ подтверждает их наличие и правильность выводов.
 4. Выявленные ДМ в “нерабочих” плоскостях ХН значительно превышают уровни бокового излучения, традиционно оцениваемого в рабочих плоскостях ХН.
 5. В режиме излучения выявленные ДМ в “нерабочих” плоскостях являются основными каналами утечки акустической энергии, демаскирования и причиной снижения гидроакустической совместимости аппаратуры.
 6. В режиме приема ДМ являются каналами проникновения мешающих сигналов, дополнительных шумов и помех и причиной снижения помехоустойчивости.
- Разработка и проектирование гидроакустической аппаратуры и лагов, в частности, должна вестись с учетом всеобъемлющей оценки характеристик гидроакустических антенн.

Литература

1. Виноградов К.А., Кошкарёв В.Н., Осюхин Б.А., Хребтов А.А. Абсолютные и относительные лаги. Справочник. – Л.: Судостроение, 1990. –264 с.
2. Жуков В.Б. Расчет гидроакустических антенн по диаграмме направленности. – Л.: Судостроение, 1977. –184 с.
3. Дьяконов В.П. MATLAB. Учебный курс. СПб.: ПИТЕР, 2001. –560 с.