

ИНСТИТУТ ГИДРОМЕХАНИКИ АКАДЕМИИ НАУК УКРАИНЫ

На правах рукописи

Экз. N 73

КОШУКОВ АЛЕКСАНДР ВИКТОРОВИЧ

УДК 534.526.32 : 681.883.67.773

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗВУКОВЫХ ПОЛЕЙ
ИЗЛУЧАЮЩИХ КРУГОВЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ АНТЕНН
С УЧЕТОМ АКУСТИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Специальность 01.04.06 - акустика

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Киев - 1994



"Славутич"

Научные руководители - кандидат технических наук, старший научный сотрудник Добровольский В. Ю., доктор технических наук, профессор Лейко А. Г.

Официальные оппоненты : доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Вовк И. В., кандидат технических наук Москаленко А. С.

Ведущая организация : Киевский политехнический институт

Защита диссертации состоится 26 05 1994 г. в 14 час. на заседании специализированного совета института гидромеханики АН УССР

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке спецфонда института гидромеханики АН Украины.

Автореферат составлен 14 04 1994 г.

Ученый секретарь специализированного совета,

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.

Акустические антенны являются частью устройств, с помощью которых осуществляется поиск, обнаружение и сопровождение целей в водной среде, ориентация подводных и надводных объектов, навигация, исследование гидрофизических параметров водной среды и другие функции в практике освоения Мирового Океана.

При разработке различных технических устройств в течение длительного времени сохраняется устойчивый интерес к круговым цилиндрическим антеннам, которые в настоящее время получили широкое распространение.

До недавнего времени расчёт параметров таких антенн производился по известной схеме, в соответствии с которой направленность антенны в дальнем поле определялась с учётом того что направленность преобразователя представляет собой характеристику направленности (ХН), близкую к кардиоиде, а затем с использованием теоремы умножения, определялась направленность рабочего сектора антенны. Энергетические характеристики антенны определялись также, используя энергетические характеристики отдельного преобразователя с последующим суммированием по количеству участвующих в работе элементов.

Переход в низкочастотную часть диапазона и связанное с этим уменьшение волнового размера преобразователя в значительной степени изменило ситуацию, т.к. акустические колебания соседних излучателей в антенне стали оказывать заметное влияние на параметры механической колебательной системы остальных преобразователей. Этот эффект получил название акустического взаимодействия преобразователей по полю. Он особенно проявился в

полосе частот механического резонанса излучателей, в котором, как правило, наиболее эффективно работают излучающие антенны. Воздействие этого эффекта приводит к тому, что взаимодействие, как физический эффект, вносит достаточно веские коррективы в расчёт параметров антенны. Отказ от учёта взаимодействия в антеннах, выполненных на основе высокэффективных преобразователей, приводит к заметному различию между расчётными и экспериментальными данными. Необходимость учёта перечисленных факторов, их систематизация, а также необходимость реализации потенциальных возможностей излучающих антенн также определяют актуальность диссертационной работы.

ЦЕЛЬЮ РАБОТЫ является:

- исследование звуковых полей излучающих круговых цилиндрических антенных решеток с учётом характерных особенностей их работы в условиях акустического взаимодействия;

- на основе полученных соотношений проведение расчётов параметров исследуемых антенных решеток, анализ полученных результатов, выявление их закономерностей и особенностей в широком диапазоне изменения волновых размеров как самих антенн, так и их преобразователей; определение условий, при которых энергетическая эффективность излучающих антенн максимальна, реализация их потенциальных возможностей при наличии кавитационных ограничений;

- экспериментальная проверка полученных расчётных результатов, учитывающих определённые модельные допущения;

- разработка выводов и рекомендаций, вытекающих из результатов исследований звуковых полей рассматриваемых антенн применительно к решению прикладных технических задач.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА

1. () помощью усовершенствованной методики расчета цилинд-

рических антенн, построенных на основе высокоэффективных поршневых преобразователей с малыми механическими потерями, было обеспечено проведение большого объема расчетов параметров антенны в широком диапазоне изменения их волновых размеров. Кроме того, усовершенствованная методика позволяла определить параметры не только тех преобразователей, к которым подводилось электрическое возбуждающее напряжение, но также и тех, которые не входят в состав рабочего сектора антенны, оказывая влияние на работающие преобразователи как пассивные резонаторы.

2. Полученные методом коротковолновой асимптотики расчетные соотношения позволили определить взаимное сопротивление излучения и характеристики направленности для случая антенны с малым волновым размером ka ($ka < 10$, где k - волновое число, $k = 2\pi/\lambda$, λ - длина волны, a - радиус цилиндрической антенны).

3. Полученные расчетные соотношения позволили определить распределение звукового давления на поверхности излучения трехмерной цилиндрической решетки, что дало возможность определить наиболее кавитационно опасные зоны расчетным путем.

4. Разработан расчетно-экспериментальный способ определения кавитационно опасных зон на поверхности излучения антенны.

5. Показано, что в цилиндрической антенне при несоблюдении условия независимости преобразователей по полю на частотах вблизи резонанса изменение коэффициента концентрации носит аномальный характер, что обусловлено поведением высокоэффективных неработающих преобразователей в антенне как пассивных резонаторов. Это приводит к заметному уменьшению диссипации энергии на них и созданию условий для распространения волны поверхностного типа на элементах антенны.

6. Рассчитанные и экспериментально подтвержденные распре-

деления электрических напряжений, подводимых к преобразователям антенны, при несоблюдении условий независимости преобразователей по полю обеспечивают:

- равномерное распределение колебательных скоростей преобразователей в антенне, позволяющее максимизировать акустическое давление, на (15 - 25) % превышающее давление при равномерном распределении подводимых электрических напряжений, при работе каждого преобразователя антенны на пределе механических напряжений;

- равномерное распределение акустического давления на поверхности излучения, что обеспечивает работу антенны в режиме, когда все преобразователи излучают акустическую мощность на пределе предкавитационного порога, в результате чего общее акустическое давление антенны увеличивается на (30 - 50) %.

7. Разработанные и апробированные способы обнаружения кавитации с применением разработанных способов обнаружения кавитационно опасных зон позволяют адаптировать излучающую антенну к изменяющемуся в широких пределах кавитационному порогу и обеспечивают увеличение акустического давления, развиваемого антенной, в два и более раз.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РАБОТЫ

1. Полученные в работе аналитические соотношения звуковых полей цилиндрических антенн, состоящих из поршневых преобразователей, позволяют рассчитать параметры реальных антенн в широком диапазоне их волновых размеров с реальными параметрами входящих в них преобразователей. В результате этого расчета определены режимы работы излучающих антенн, обеспечивающие повышение энергетической эффективности излучения от (15- 25)% до 50%.

2. Разработанные новые расчетные методики обнаружения кавитационно опасных зон на поверхности излучения антенн позволяют адаптировать излучающую антенну при работе в условиях кавитационного ограничения и тем самым учитывать ее энергетическую эффективность по давлению в два и более раз.

ДОСТОВЕРНОСТЬ полученных результатов обеспечивается использованием физически обоснованных математических моделей, применением к решению задач строгих математических методов расчет скалярных звуковых полей на основе асимптотических методов решения уравнения ГЕЛЬМГОЛЬЦА, согласованностью полученных результатов расчета с экспериментальными данными.

ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

Результаты диссертационной работы использованы при выполнении НИОКР и в процессе разработки конструкторской документации опытных образцов излучающих трактов изделий, выполненных в Киевском НПО "Славутич" в плановом порядке.

Изобретения по теме диссертационной работы использованы в НИР и внедрены в ОКР при разработке промышленных образцов.

АПРОВАЦИЯ РАБОТЫ

Результаты, полученные в настоящей работе докладывались и обсуждались на :

-IV Всесоюзном симпозиуме по физико-акустодинамическим явлениям и оптоакустике, Алжхабад, 1985 г. . .

-IV Дальневосточной акустической конференции "Акустические методы и средства исследования океана", Владивосток, 1986 г. . .

-II Всесоюзной конференции "Техника и методика зондирования океана", Наманган, 1987 г. . .

-X научно-техническая конференция молодых ученых и специалистов, Ленинград, 1987 г. . .

Работа в целом докладывалась на научных семинарах в Институте гидродинамики и на кафедре акустики и акустоэлектроники Киевского политехнического института.

ПУБЛИКАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТ

По материалам диссертационной работы опубликовано 9 печатных работ. Результаты исследований отражены в отчетах. Часть материалов, связанных с диссертационной работой, отражена в 9 авторских свидетельствах, 8 из которых использованы, либо внедрены в НИР и ОКР НПО "Славутич".

ОБЪЕМ И СТРУКТУРА РАБОТЫ

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, а также списка использованной литературы. Содержание диссертации изложено на 210 л., из них 148 л. машинописного текста и 65 рис.; список литературы на 7 листах, включающий 75 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы. Показано, что класс антенн, представленный к исследованию, давно и широко используется, что объективно потребовало фундаментальных исследований, выполненных многими авторами. На основании анализа библиографического материала определены задачи, которые необходимо решить в результате дополнительных исследований применительно к круговым цилиндрическим антеннам, состоящим из поршневых преобразователей. Сформулирована цель предстоящих исследований, намечены пути реализации поставленной цели.

Первая глава посвящена вводу аналитических соотношений для распределения звуковых полей излучающих цилиндрических антенн, выполненных на основе поршневых преобразователей, фазовые

центры которых образуют квадратную и треугольную ячейки, с учётом акустического взаимодействия преобразователей по полю. Определены основные направления дальнейших исследований. С учетом особенностей решаемых задач произведен выбор метода определения звуковых полей антенны, основанного на коротковолновой асимптотике функции ГРИНА, являющейся решением скалярного волнового уравнения ГЕЛЬМГОЛЬЦА. Предложена усовершенствованная методика расчета параметров цилиндрических антенн с различным относительным расположением фазовых центров преобразователей, позволяющая с учетом широкого диапазона изменений волновых размеров как самих преобразователей в антеннах, так и антенн в целом, оперативно провести большой объем численного эксперимента с целью определения закономерностей изменения параметров антенн и ее элементов и повышения эффективности излучения.

Выведены аналитические соотношения для взаимных сопротивлений излучения, XH двумерных и трехмерных цилиндрических антенных решеток, позволяющих разработать простые алгоритмы расчета параметров антенны, полностью характеризующих ее в режиме излучения при условии, когда колебательные скорости элементов антенны заданы, а также в случае, когда их необходимо определить.

Разработаны аналитические выражения, позволяющие рассчитать значения амплитуд звукового давления на поверхности излучения антенны, что позволяет обеспечить поиск наилучших способов возбуждения антенн при работе их в условиях кавитационного ограничения, а также определить наиболее кавитационно опасные зоны, где следует размещать кавитационные датчики.

Вторая глава посвящена исследованию зависимости акустического давления в дальнем поле цилиндрической антенны

при различных ее волновых размерах от волновых размеров преобразователей при равномерном и косинусном распределении подводимых к ним электрических возбуждений при различных значениях рабочего сектора $2\phi_0$:

1) при $2\phi_0 = 120^\circ$ - как сектора традиционного, наиболее используемого на практике;

2) при $2\phi_0 = 180^\circ$ - как сектора, обеспечивающего использование области прямой видимости цилиндрической поверхности антенны относительно источника наблюдения.

Проведено также исследование, направленное на поиск оптимального (в смысле максимизации акустического давления, развиваемого антенной, и коэффициента концентрации) углового размера рабочего сектора цилиндрической антенны. Задача решалась в предположении, что условие независимости преобразователя по полю выполняется.

В связи с тем, что при проектировании антенны задача максимизации акустического давления сочетается с требованиями реализации низких уровней добавочных максимумов ХН, проведено исследование зависимости коэффициента концентрации (как интегрального параметра, характеризующего направленность) от волновых размеров преобразователей при тех же параметрах и в тех же условиях, что при исследовании изменения акустического давления.

Анализ полученных результатов позволил сделать вывод о том, что максимальное акустическое давление можно реализовать при волновом размере преобразователя $0,4 \lambda$, рабочем секторе $2\phi_0 = 180^\circ$ и равномерном распределении подводимых к преобразователю электрических напряжений. Очевидно, что уменьшение волнового размера преобразователя с целью максимизации акустического давления ведет к увеличению числа каналов в антенне при ее задан-

ном волновом размере, λ , следовательно, увеличивается число каналов генераторного тракта.

Исследован характер численного изменения параметров антенны при невыполнении условия независимости преобразователя по полю.

Проведено исследование изменения энергетических параметров преобразователей (колебательной скорости, сопротивления излучения, КПД) от их положения в рабочем секторе антенны, а также коэффициента концентрации и параметров направленности (ширины ХН на уровне 0,707 по давлению, первого дополнительного максимума ХН и оребра ХН) от волнового размера радиуса антенны (ka).

Показано, что акустическое взаимодействие преобразователей с малыми механическими потерями и высокими КПД ($\eta > 0,5$) необходимо учитывать при расчете параметров антенны, так как в противном случае заметно растут ошибки в определении параметров антенны (к примеру, ошибка при определении давления может достигать (30-40) %, а в уровне оребра ХН - до 100%).

При проведении расчетов коэффициента концентрации ($K_{\text{к}}$) в полосе частот вблизи механического резонанса преобразователя обнаружен необычный характер изменения коэффициента концентрации в узкой полосе ниже резонанса, состоящий в резком падении его значения на некоей критической частоте $F_{\text{кр}}$. Уровень такого уменьшения и значение $F_{\text{кр}}$ является функцией КПД преобразователя и его механической добротности. Анализ явления показал, что причиной этого аномального изменения $K_{\text{к}}$ является значительное уменьшение диссипативных потерь акустической энергии. Это проявляется в том, что при электрическом возбуждении одного преобразователя в цилиндрической антенне колебательные скорости неработающих преобразователей, ведущих себя как пассивные резона-

торы, на частоте $F_{кр}$ резко возрастают по сравнению с их значениями на остальных частотах. В результате на поверхности цилиндра возникает волна типа поверхностной. Этот процесс был известен как явление, присущее локально реагирующей импедансной поверхности, состоящей из источников, малых по сравнению с длиной волны. Для поверхности, состоящей из полуволновых преобразователей, аналогичного явления в литературе описано не было.

Исследована степень уменьшения эффективности антенны, связанная с несовпадением фактического фазового центра преобразователя в круговой цилиндрической антенне с фазовым центром, расположенным в геометрическом центре рабочей поверхности преобразователя, что является следствием дифракции и акустического взаимодействия преобразователя в антенне. Это несовпадение ведет к росту фазовых ошибок и увеличению погрешности в определении параметров антенны. Значение и учет этих ошибок дает возможность увеличения эффективности рассматриваемых антенн путем компенсации ошибок.

Исходя из общего подхода в определении технического порога кавитации, делается вывод о том, что для повышения эффективности антенны, работающей в условиях кавитационного ограничения, необходима информация о распределении поля давлений и их численных значений на поверхности излучения с определением наиболее кавитационно опасных участков и установкой там средств обнаружения кавитации.

При помощи разработанной методики, основанной на коротковолновой асимптотике функции РИНА и на использовании универсальной функции ФОКА, произведен расчет поля давлений на поверхности излучения круговой цилиндрической антенны, состоящей из стержневых преобразователей с секторами излучения $2\psi_0$

120° и $2\phi_0 = 180^\circ$ при углах компенсации ХН в угломестной плоскости $\theta_0 = 30^\circ$ и $\theta_0 = 45^\circ$.

Показаны участки поверхности излучения с максимумами акустического давления, где возникновение кавитации наиболее вероятно и куда целесообразно помещать датчики кавитации. Определено влияние фазовой компенсации в угломестной плоскости на расположение кавитационно опасных зон в антенне и на значение максимумов акустического давления в них.

Продемонстрирована на примерах расчета прямая связь между распределением акустического давления на поверхности излучения и распределением активной составляющей сопротивления излучения преобразователей в антенне, что дает возможность определения кавитационно опасных зон по максимальному значению активной составляющей сопротивления излучения. В некоторых случаях этот расчет оказывается заметно проще.

Предложен расчетно - экспериментальный метод определения кавитационно опасных зон на поверхности излучения, который при сравнении с приведенными выше методами дает удовлетворительное совпадение.

Для повышения энергетической эффективности антенны, работающей в условиях кавитационных ограничений, разработана методика расчета распределения подводимых к преобразователям в антенне электрических напряжений, при котором распределение давления по поверхности антенны в рабочем ее секторе остается неизменным. Это дает возможность работы всех преобразователей в антенне на предельном предкавитационном пороге, что приводит к увеличению акустического давления, развиваемого антенной примерно в 1,5 и более раз.

Третья глава посвящена экспериментальному подтвержде-

дению проведенных расчетов и предложенных методов повышения эффективности излучающих антенн.

Результаты экспериментальных исследований показали близкое совпадение данных, полученных на натурных испытаниях, с результатами, которые определены расчетным путем, что подтверждает работоспособность разработанных и экспериментально апробированных методик и расчетных моделей излучающих антенн.

Экспериментально апробированы расчетные распределения, обеспечивающие постоянство колебательных скоростей преобразователей в антенне, либо постоянство давлений на излучающей поверхности антенны, подтвердило правильность расчета этих распределений. В результате продемонстрирована эффективность их введения в зависимости от требований, предъявляемых к антенне.

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

Основные результаты исследований, полученные в ходе выполнения диссертационной работы, состоят в следующем.

1. Развита и усовершенствована методика расчета круговых цилиндрических антенн, состоящих из поршневых преобразователей, позволяющие учесть не только акустическое взаимодействие преобразователей в антенне в области резонансных частот и его зависимость от электрофизических параметров преобразователей; но и обеспечить проведение большого объема инженерных расчетов параметров антенн полностью характеризующих режим излучения в широком диапазоне волновых размеров антенны при различных значениях параметров входящих в нее преобразователей.

2. Выявлены и изучены потенциальные возможности круговых цилиндрических антенн с различным расположением фазовых центров их преобразователей в зависимости от волновых размеров антенн и их преобразователей, а также типа распределения подводимых к

преобразователям электрических возбуждений. Показано, что в режиме излучения, при котором условие независимости преобразователей по полю в антенне выполняется (т.е. акустическим взаимодействием преобразователей можно пренебречь) максимальную эффективность излучения можно обеспечить, исходя из следующих соображений.

В том случае, когда альтернативными режимами являются режимы работы антенны в трех рабочих секторах $2\psi_0 = 120^\circ$ и $2\psi_0 = 180^\circ$, наиболее эффективным режимом, обеспечивающим максимальное акустическое давление, является режим излучения рабочим сектором $2\psi_0 = 180^\circ$ при волновых размерах преобразователей $d/\lambda < 0,45-0,5$ и равномерном амплитудном распределении под одинаковыми электрическими напряжениями ($|U_n| = 1$). Увеличение волнового размера преобразователя до значений $d/\lambda = 0,8$ с целью сокращения числа каналов в антенне и объема бортовой аппаратуры устройства приводит к уменьшению акустического давления до 30% и уменьшению коэффициента концентрации до 40%.

Введение косинусоидального амплитудного распределения с целью обеспечения более равномерного распределения акустического давления на поверхности излучения в случае работы антенны в режиме кавитационного ограничения приводит к снижению акустического давления на величину $\sim 55\%$, однако, при этом коэффициент концентрации несколько повышается (до 20%).

В случае, когда представляется возможность выбора величины рабочего сектора в антенне при равномерном распределении подводимых к полуволновым преобразователям электрических напряжений ($|U_n| = 1$), максимальное акустическое давление $P_{отн}^{max}$ обеспечивается рабочим сектором, величина которого зависит от волнового размера антенны (ka). Однако, достижение $P_{отн}^{max}$ приводит к потере в коэффициенте концентрации по сравнению с его

максимальным значением до 20%.

Введение косинусоидального амплитудного распределения подводимых электрических напряжений ($|U_m| = \cos \varphi_m$) приводит к снижению акустического давления на величину до 45%. Однако, при этом виде распределения коэффициент концентрации увеличивается при некоторых значениях d/λ до 1,5 раз. Кроме того, в этом случае при выборе рабочего сектора, при котором акустическое давление максимально, одновременно практически достигается максимум коэффициента концентрации.

Дана количественная оценка влияния акустического взаимодействия в высокочастотных преобразователях на параметры антенны. Установлено, что при КПД преобразователя в антенне $\eta < 0,5$ влияние акустического взаимодействия на параметры антенны менее величины допустимого амплитудно-фазового разброса, вследствие чего влиянием акустического взаимодействия преобразователей можно пренебречь.

Показано, что при равномерном распределении подводимых к полуволновым преобразователям электрических возбуждений максимальная эффективность антенны достигается при рабочем секторе $2\varphi_0 = 180^\circ$ практически независимо от волнового размера антенны. При косинусоидальном распределении подводимых электрических возбуждений максимальная эффективность обеспечивается при рабочем секторе $2\varphi_0 = 150^\circ$.

Увеличение эффективности излучения антенны на 10-18% достигается использованием преобразователей с волновыми размерами $d/\lambda < 0,3$ независимо от того каковы волновые размеры антенны, значения ее рабочего сектора, вид распределения подводимых к ее преобразователям электрических возбуждений, а также выполняется для условия независимости преобразователей.

3. Выявлены условия максимального излучения в случае предъявления предельных требований к преобразователям антенны по техническому ресурсу. Установлено, что для реализации режима постоянства колебательных скоростей преобразователей, который, как известно, является оптимальным для обеспечения максимального технического ресурса антенны, необходимо определить распределение подводимых электрических возбуждений из системы линейных алгебраических уравнений, которое является в некотором смысле компенсационным, сводящим на нет акустическое взаимодействие преобразователей.

4. Обнаружено аномальное проявление частотной зависимости коэффициента концентрации (K_k) антенны вблизи резонансной частоты акустически взаимодействующих преобразователей, заключающееся в том, что на некоторой частоте ниже резонанса эта зависимость имеет резкий спад, а затем столь же резкий подъем. Установлено, что это явление зависит от электрофизических параметров преобразователей антенны, в частности, от их добротности и КПД. В связи с этим обнаружено, что резкое уменьшение K_k антенны обусловлено возникновением некоей диссипативной волны, подобной так называемой поверхностной волне, характерной для локально реагирующей impedanceной поверхности, состоящей из источников малых по сравнению с длиной волны. Аналогичного явления для цилиндрических антенн, состоящих из полуволновых преобразователей в литературе описано не было.

5. Выведены аналитические выражения и дана оценка параметров антенн, фазовые центры преобразователей которых образуют треугольную решетку. Даны рекомендации по рациональному использованию антенн такого типа.

6. Разработаны и предложены методы повышения эффективности

излучающих антенн при работе их в условиях кавитационного ограничения, которые сводятся к тому, что эффективной работы антенн в этих условиях необходимо обеспечение выравнивание давлений на их поверхности, для чего требуется расчет распределений подводимых электрических возбуждений на основе приведенных аналитических соотношений.

7. Выведены аналитические выражения для определения поля давления на поверхности излучения. В результате расчета определены максимумы давления, являющиеся потенциальными зонами возникновения кавитации, куда необходимо разместить датчики кавитации.

Предложен приближенный простой способ обнаружения кавитационно опасных зон. Изложена методика расчета распределений подводимых электрических напряжений, обеспечивающих равномерность поля давлений на поверхности излучения, приводящих к повышению эффективности излучения на 30 - 50%.

Определено, что установка датчиков кавитации, размещенных в кавитационно опасных зонах, в условиях изменяющихся в широких пределах кавитационных порогов способствуют повышению эффективности излучения 2 и более раз.

8. Экспериментальными исследованиями параметров макетов круговых цилиндрических антенн из поршневых преобразователей подтверждена корректность допущений, сделанных при разработке математической модели антенны применительно к физической модели, прототипами которой являются исследуемые макеты. Сопоставлением полученных экспериментальных данных с теоретическими результатами подтверждена возможность использования полученных аналитических соотношений для описания свойств звуковых полей реальных антенн и их преобразователей.

Экспериментальными исследованиями предложенных методов и средств обнаружения кавитации подтверждена работоспособность этих методов и возможность их использования при создании современных излучающих антенн.

Экспериментально апробированы выявленные в результате теоретических исследований пути повышения эффективности излучения путем обеспечения равномерности колебательных скоростей преобразователей и равномерности звуковых давлений на поверхности излучения.

В ходе выполнения научно - исследовательских и опытно-конструкторских работ НИО "Славутич" осуществлено внедрение результатов диссертационной работы в практику проектирования акустических антенн различного назначения. Ряд технических решений, выявленных в ходе проведения исследований, признаны как решения, обладающие новизной и защищены авторскими свидетельствами.

Основные результаты диссертации отражены в следующих работах автора:

1. Добровольский Ю.Ю., Колтуков А.В. О возбуждении цилиндрической решетки резонаторов акустическими излучателями. Тезисы докладов на IV Всесоюзном симпозиуме по физике акустодинамических явлений и оптоакустике, секция Д, 1985, Ашхабад с.62.

2. Добровольский Ю.Ю., Колтуков А.В. Об искажении диаграммы направленности цилиндрической антенны вследствие взаимодействия ее элементов. Межведомственный сборник МинВУ, ГОИ СР АН СССР, №6, Владивосток, 1988, с.64.

3. Добровольский Ю.Ю., Колтуков А.В. Влияние взаимодействия на КПД преобразователя при его установке в круговую цилиндрическую решетку. Тезисы докладов IV Дальневосточной акус-

тической конференции "Акустические методы и средства исследования океана", секция II - Теория направленных и фокусирующих систем, Владивосток, 1986, с.71.

4. Добровольский Ю.Ю., Кошуков А.В. О фазовом центре поршневого элемента акустической цилиндрической антенной решетки. Тезисы II Всесоюзной конференции "Техника и методика зондирования океана", секция В, Намагач, 1987, с.16.

5. Кошуков А.В., Линчевский И.В. Волоконно-оптический датчик кавитации. Тезисы докладов X научно-технической конференции молодых ученых и специалистов ЛНПО Океанприбор, Ленинград, 1987, с.139.

6. Кошуков А.В., Добровольский Ю.Ю. Способ определения кавитационно опасных участков на поверхности многоэлементной гидроакустической антенны, а.с. N1562842 от 25.04.88.

7. Добровольский Ю.Ю., Кошуков А.В. О коэффициенте концентрации акустических круговых цилиндрических антенных решеток. Акустический журнал, выд.1, т.XXXIV, 1988, с. 174-176.

8. Кошуков А.В., Карновский А.М., Сюкин И.С. О работе акустической антенны при наличии границы раздела сред. Межвузовский сборник "Антенны и преобразователи", Владивосток, 1988, с.26-29.

9. Кошуков А.В. Зависимость параметров цилиндрических антенн на частоте резонанса от их волновых размеров. Вопросы кораблестроения, серия ГА, вып.52, 1988, с.

10. Кошуков А.В., Стояновский И.Г. Способ обнаружения кавитации, а.с. N804873 от 14.04.78.

11. Кошуков А.В., Стояновский И.Г. Устройство для определения кавитационной прочности жидкости, а.с. N765726 от 12.06.78.

12. Кошуков А.В., Раумова А.Н. Устройство для определения

кавитационной прочности жидкости, а.с. N834496 от 17.07.79.

13. Кошуков А.В., Разумова А.Н., Стояновский И.Г. Устройство защиты акустического излучателя от кавитационного разрушения, а.с. N151042 от 19.07.79.

14. Кошуков А.В., Давыдов В.С., Разумова А...., Сидельский С.М. Устройство обнаружения кавитации, а.с. N193699 от 9.11.82.

9. Кошуков А.В., Добровольский Р.Ю. О повышении кавитационного порога Вопросы кораблестроения, вып. 51, 1984, с. 76-79.



Подписано к печати 28.02.1994 г. Формат 60x84/17

Л,мага офсетная.Усл. - печ.лист.1.0.Уч.- изд.л т.1.0

Тираж 100.Заказ 236. Бесплатно.

Полиграф.уч-к Института электродинамики АН Украины

252057, Киев-57, проспект Г.Хмельницкого, 56.

201544

AB 29.570
AB 29.570