

**ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭКОЛОГИИ,
МЕДИЦИНЫ, БИОЛОГИИ**

УДК: 681.883.67

**ИЗМЕРЕНИЕ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННЫ В
ПОЛОСЕ РАБОЧИХ ЧАСТОТ**

©2024 г. В. Ю.Нерук^а, П. П. Пивнев^а, Д. А. Давыдов^{а,*}

^аЮжный федеральный университет

Россия, 347928, Таганрог, пер. Некрасовский, 44

*e-mail: d.davydov505@gmail.com

Поступила в редакцию 21.08.2023 г.

После доработки 25.10.2023 г.

Принята к публикации 20.12.2023 г.

Приводятся результаты лабораторных измерений диаграмм направленности широкополосных антенн с применением линейной частоты модуляции (ЛЧМ) сигнала. Исследования проводились на базе уникальной научной установки “Имитационно-натурный гидроакустический комплекс” (УНУ “ИНГАК”) кафедры электрогидроакустической и медицинской техники Института нанотехнологий, электроники и приборостроения Южного федерального университета. Особенностью эксперимента является то, что при одном проведении измерения диаграммы направленности антенны охватывается весь диапазон рабочих частот излучателя, выделение интересных частот осуществилось путем цифровой обработки полученных данных.

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время гидроакустические приборы и системы широко развиваются. Одним из важнейших элементов любой гидроакустической станции является гидроакустическая антенна [1]. При разработке и настройке гидроакустической станции важно знать реальные (измеренные) параметры диаграммы направленности (ДН) антенны в диапазоне рабочих частот. Методы гидроакустики могут быть более эффективными при построении аппаратуры при использовании сложных широкополосных сигналов. Для подводного наблюдения с помощью сложных сигналов удастся расширить зону обнаружения за счет увеличения дальности действия. С другой стороны, использование широкополосных сигналов позволяет существенно увеличить разрешающую способность. В звукоподводной гидроакустической связи при нарастающем потоке информационных данных без широкополосных сигналов просто не обойтись. Наиболее сложным звеном гидроакустических станций, с точки зрения

обеспечения широкой полосы пропускания, являются гидроакустические антенны. Особенно актуален этот вопрос для излучающих антенн. Измерения основных акустических характеристик широкополосных гидроакустических систем при экспериментальных исследованиях проводятся в соответствии со стандартными правилами и методиками. Однако при исследовании широкополосных систем имеется ряд особенностей.

2. ОПИСАНИЕ ИЗМЕРЯЕМОЙ АНТЕННЫ И ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

В качестве измеряемой антенны использовалась антенна накачки параметрического профилографа [2, 3], разработанная на кафедре электрогидроакустической и медицинской техники Южного федерального университета (рис. 1). Характеристики антенны накачки представлены в табл. 1.

Рис.1

Эксперимент проводился на ВЧ-канале антенны. Известно, что характеристика направленности антенны зависит от рабочей частоты антенны – чем больше частота, тем уже характеристика направленности (при одинаковой апертуре антенны). Расчетная ширина диаграмм [4, 5] направленности измеряемой антенны накачки по уровню -3 дБ (0.707) составляет примерно 3.5° , 3° и 2.5° на частотах 133, 152 и 172 кГц соответственно.

Эксперимент записи диаграммы направленности антенны осуществляется по трем методикам.

1. С использованием аналогового самописца уровня на тональном сигнале.
2. С использованием аналого-цифрового преобразователя (АЦП), внесенного в реестр измерительных устройств, на тональном сигнале.
3. С использованием АЦП, внесенного в реестр измерительных устройств, на ЛЧМ-сигнале с последующим выделением интересующей частоты посредством цифровой обработки сигналов.
- 4.

3. ЗАПИСЬ ДАННЫХ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННЫ НА ЛЧМ-СИГНАЛЕ

Запись (регистрация) данных диаграмм направленности антенны на ЛЧМ-сигнале выполнялась на лабораторной установке, структурная схема которой показана на рис. 2.

Рис. 2

Запись диаграммы направленности с помощью АЦП проводилась по методу подвижной антенны в импульсном режиме. Диаграмма направленности записывалась один раз на ЛЧМ-сигнале. Изменение частоты в сложном сигнале выбрано по полосе пропускания антенны – от 133 кГц до 172 кГц. Принимаемые гидрофоном аналоговые сигналы преобразовывались в цифровой вид с частотой дискретизации 1.5 МГц.

Запись диаграммы направленности проводилась по следующему алгоритму.

1. Установка ориентации антенны акустической осью на гидрофон.

2. Поворот антенны против часовой стрелки на 90° .
3. Запуск излучения.
4. Синхронизированный старт поворота антенны по часовой стрелке на 180° и начало записи АЦП и самописца.
5. После поворота антенны на 180° осуществлялся синхронизированный стоп поворота и стоп записи АЦП и самописца.
6. Цифровая обработка записанных данных.

Данные в цифровом виде регистрировались с помощью программного обеспечения сбора данных PowerGraph. На рис. 3 представлен пример принимаемых данных в виде двух графиков: на верхнем – импульсы синхронизации, на нижнем – принимаемые гидрофоном оцифрованные импульсы, излучаемые антенной. Амплитуда импульсов соответствует акустическому давлению в точке установки гидрофона. По мере поворота антенны на 180° амплитуда импульсов изменяется. Один импульс в окне программы сбора данных PowerGraph приведен в увеличенном масштабе на рис. 4.

Рис. 3, 4

4. ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА И ФИЛЬТРАЦИЯ ПОЛУЧЕННОГО СИГНАЛА

После записи данных на ЛЧМ-сигнале осуществляется цифровая обработка сигнала по следующему алгоритму.

1. Конвертирование сигнала в матрицу Matlab.
2. Синтез цифрового полосового фильтра и настройка на интересующую частоту.
3. Поиск значений синхроимпульса.
4. Выделение фронта синхроимпульса, запись значений в массив.
5. Выделение каждой посылки сигнала по фронту синхроимпульса.
6. Фильтрация каждой посылки сигнала с помощью синтезированного фильтра.
7. Вычисление действующего значения каждой фильтрованной посылки сигнала.
8. Запись вычисленных значений в массив.
9. Построение графика.
10. Сравнение полученных данных с данными предыдущего эксперимента.

Для выделения интересующей частоты используется узкополосный цифровой полосовой фильтр 1000-го порядка с полосой пропускания 2 кГц. Характеристика фильтра, настроенного на центральную частоту 133 кГц, представлена на рис. 5.

Данный тип фильтра применяется для фильтрации каждой частоты (при фильтрации происходит изменение центральной частоты). Единичная посылка ЛЧМ-сигнала представлена на рис. 6. После фильтрации сигнал приобретает форму, показанную на рис. 7.

Рис. 5-7

После фильтрации вычисляется действующее значение каждой отфильтрованной посылки и строится отображение диаграммы направленности.

5. АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Далее представлены результаты выделения диаграмм направленности и их сравнение с данными, записанными по двум методикам на трёх частотах: 133, 152 и 172 кГц, что соответствует нижней, центральной и верхней частотам полосы пропускания антенны соответственно. Наибольший интерес представляет участок от 0 до -20 дБ (форма и ширина основного лепестка диаграммы направленности по уровню -3 дБ [6-8], положение и уровень первых боковых лепестков). После -20 дБ данные могут расходиться, так как динамические диапазоны сравниваемых методик регистрации могут различаться.

Ширина регистрируемой диаграммы направленности на частоте 133 кГц, как видно на рис. 8, примерно равна 3.5° .

Ширина регистрируемой диаграммы направленности на частоте 152 кГц, как видно на рис. 9, примерно равна 3° .

Ширина регистрируемой диаграммы направленности на частоте 172 кГц, как видно на рис. 10, примерно равна 2.5° .

Анализируя полученные результаты эксперимента, можно сделать вывод о том, что выделенная диаграммы направленности из данных, регистрируемых на ЛЧМ-сигнале, повторяет форму и ширину диаграммы направленности, записанной на тональном сигнале в цифровом виде. Также выделенные диаграммы направленности из ЛЧМ-сигнала повторяют форму и ширину диаграммы направленности, записанной аналоговым самописцем уровня.

6. ВЫВОДЫ

Преимуществом записи диаграммы направленности на ЛЧМ-сигнале является то, что при одном проведении измерения диаграммы направленности антенны в гидроакустическом бассейне охватывается весь диапазон рабочих частот излучателя [9]. Используя методы цифровой обработки сигналов, исследователь получает возможность выделить диаграммы направленности на любой частоте полосы пропускания антенны, что значительно упрощает процедуру проведения измерений и сокращает время измерений.

Рис. 8-10

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Боббер Р.* Гидроакустические измерения. Москва: Мир. 1974.
2. *Богородский В.В., Зубарев Л.А., Корепин Е.А., Якушев В.И.* Подводные электроакустические преобразователи. Расчет и проектирование. Справочник. Л: Судостроение, 1983.
3. *Смарышев М.Д., Добровольский Ю.Ю.* Гидроакустические антенны: Справочник по расчету направленных свойств гидроакустических антенн. Л: Судостроение, 1984.
4. *Колесников А. Е.* Акустические измерения. Л: Судостроение, 1983.
5. *Солдатов Г.В., Нерук В.Ю., Лагута М.В.* Способ расширения диаграммы направленности параметрической антенны // Известия Южного федерального университета. 2018. № 2018. С. 75. DOI: 10.23683/2311-3103-2018-6-75-84;
6. *Евтютов А.П., Колесников А.Е., Корепин Е.А. и др.* Справочник по гидроакустике. Л: Судостроение, 1988.
7. *Джонсон Р.С., Экер Г.А., Холлис Р.Г.* Определение диаграммы направленности антенн по результатам измерений в ближней зоне // ТИИЭР. 1973. Т. 61. № 12. С. 5.
8. *Бахрах Л.Д., Кременецкий С.Д, Курочкин А.П., Усин В.А., Шифрин Я.С.* Методы измерений параметров излучающих систем в ближней зоне. Л: Наука, 1985.
9. *Смарышев Н.Д.* Направленность гидроакустических антенн. Л: Судостроение, 1973.

Таблица 1. Характеристики антенны накачки

Параметр	Значение
Количество каналов	2
Центральная частота высокочастотного канала	152 кГц
Центральная частота низкочастотного канала	135 кГц
Полоса пропускания высокочастотного канала	40 кГц
Полоса пропускания низкочастотного канала	40 кГц
Ширина характеристики направленности ВЧ-канала на центральной частоте	3°

СПИСОК РИСУНКОВ

- Рис. 1.** Антенна накачки параметрического профилографа.
- Рис. 2.** Структурная схема экспериментальной установки.
- Рис. 3.** Данные, полученные с помощью программного обеспечения PowerGraph.
- Рис. 4.** Данные, полученные с помощью программного обеспечения PowerGraph.
- Рис. 5.** Амплитудно-частотная характеристика цифрового полосового фильтра.
- Рис. 6.** Единичный оцифрованный импульс ЛЧМ-сигнала.
- Рис. 7.** Форма сигнала, прошедшего через полосовой фильтр с центральной частотой 133 кГц.
- Рис. 8.** Сравнение диаграмм направленности: выделенной из ЛЧМ-сигнала, и записанной на тональном сигнале 133 кГц в цифровом и аналоговом видах.
- Рис. 9.** Сравнение диаграмм направленности: выделенной из ЛЧМ-сигнала и записанной на тональном сигнале 152 кГц в цифровом и аналоговом видах.
- Рис. 10.** Сравнение диаграмм направленности: выделенной из ЛЧМ-сигнала и записанной на тональном сигнале 172 кГц в цифровом и аналоговом видах.



Рис. 1.

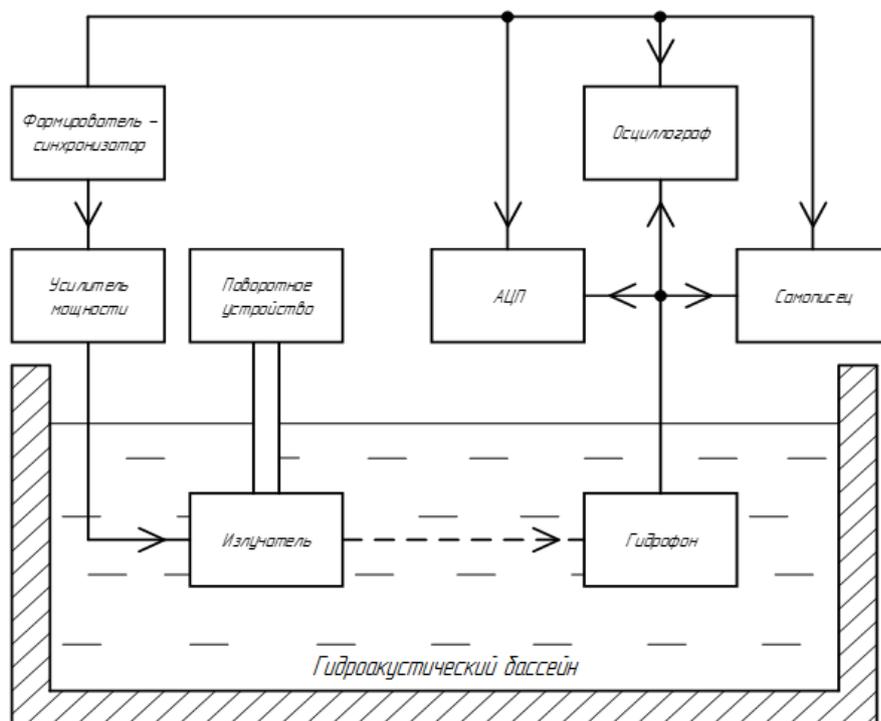
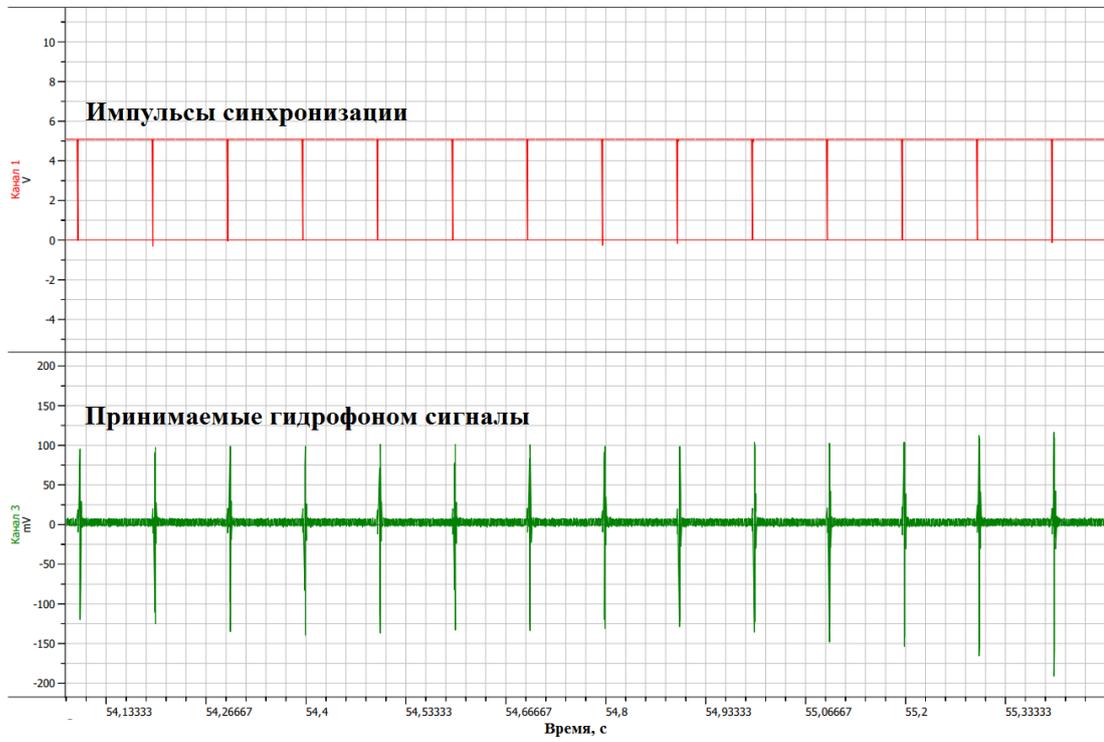


Рис. 2.



сетку убрать

Рис. 3.

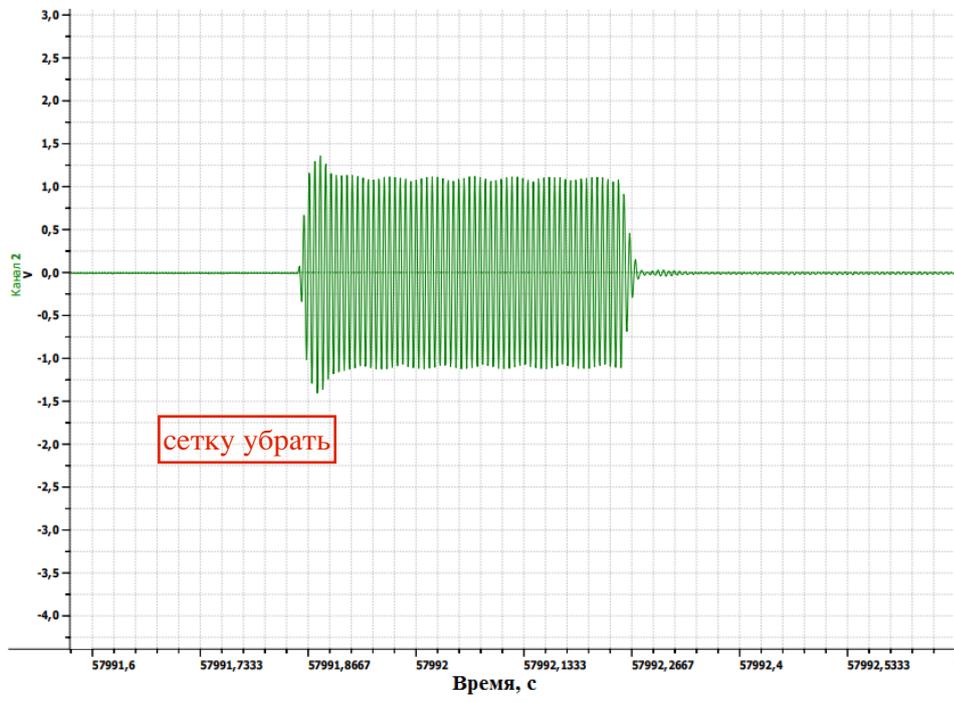


Рис. 4.

сетку убрать

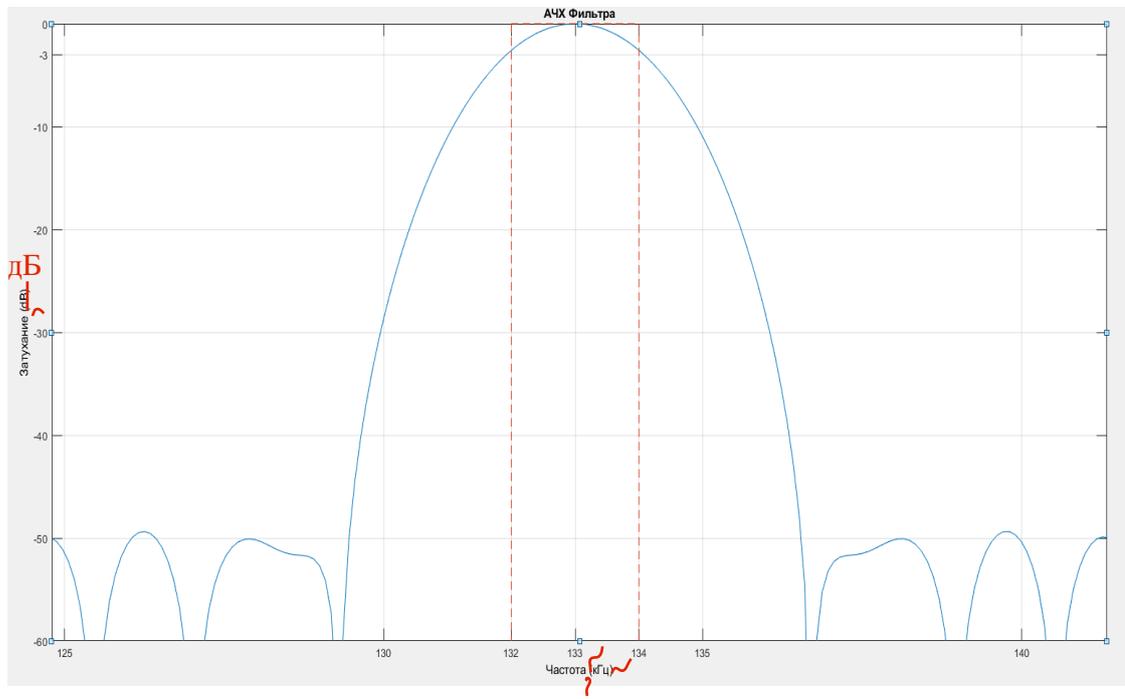


Рис. 5.

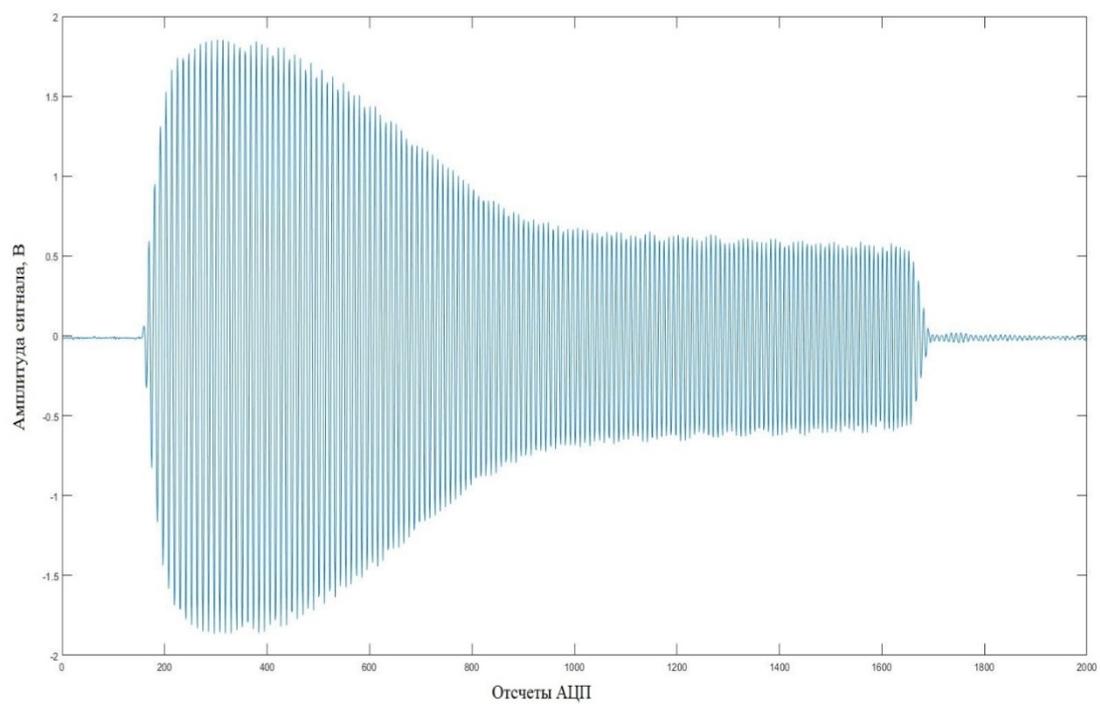


Рис. 6.

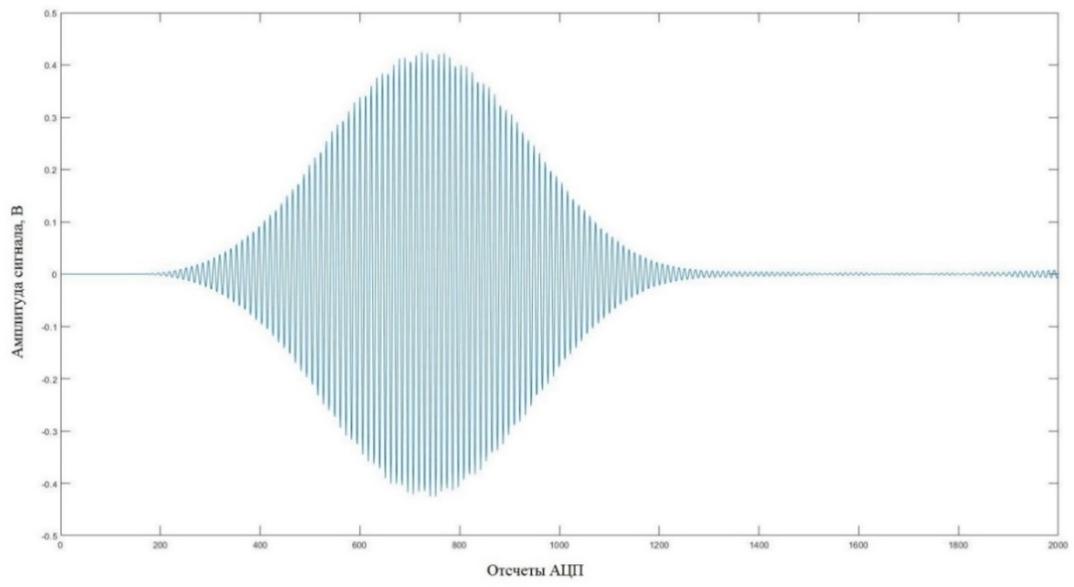


Рис. 7.

сетку убрать

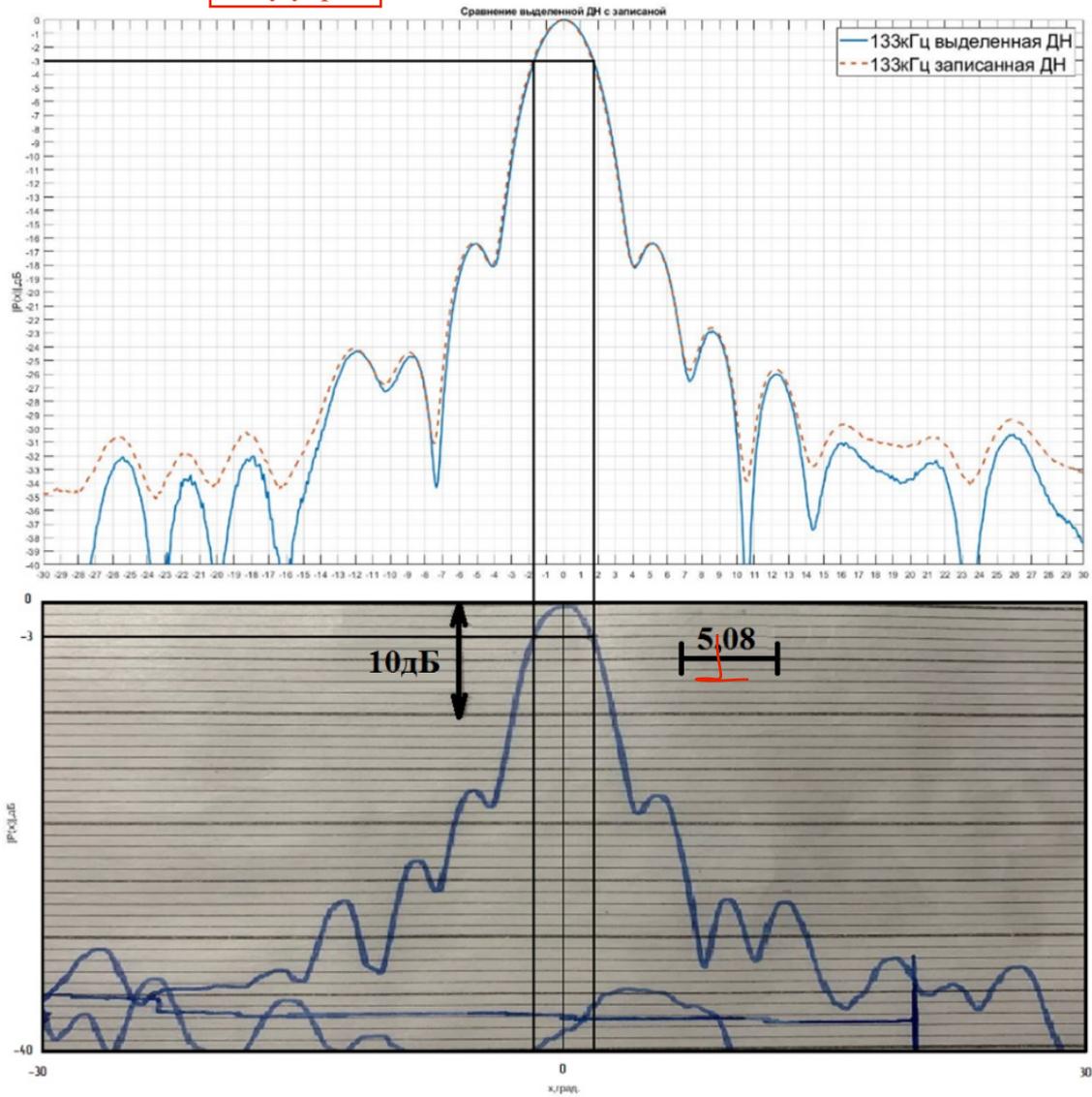


Рис. 8.

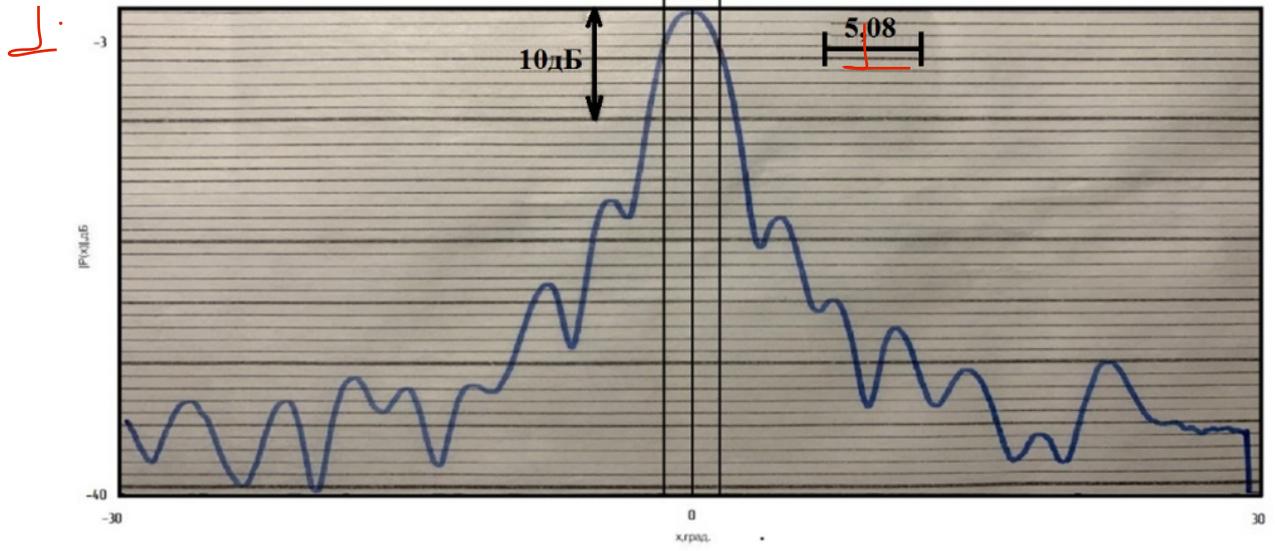
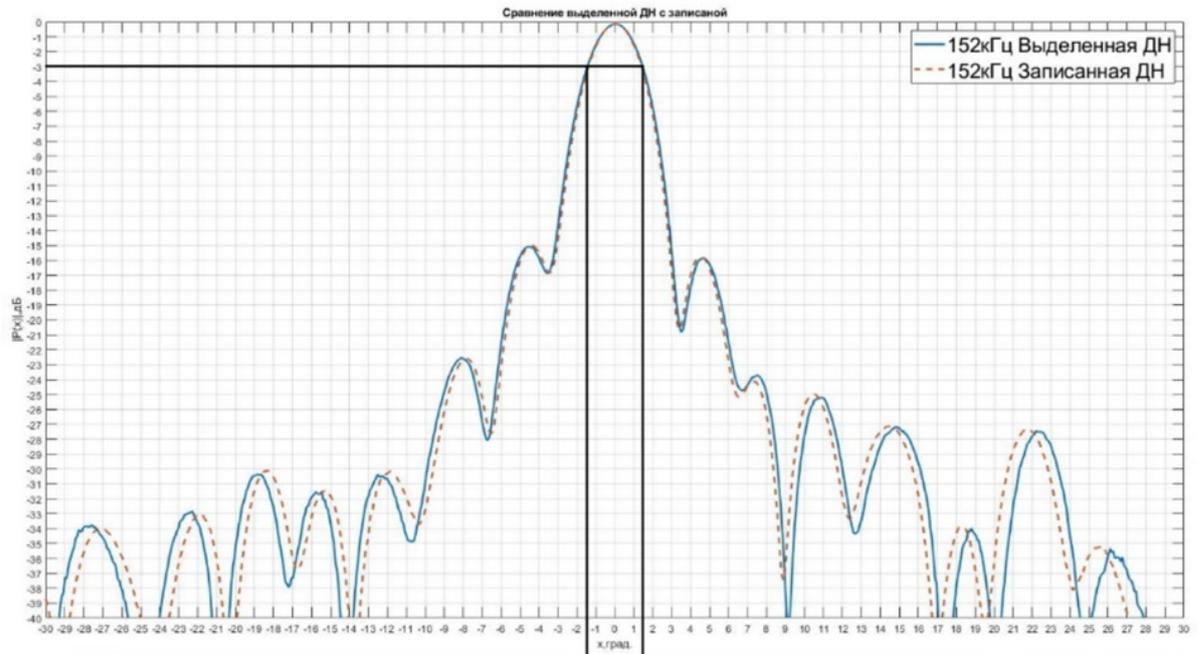


Рис. 9.

г.

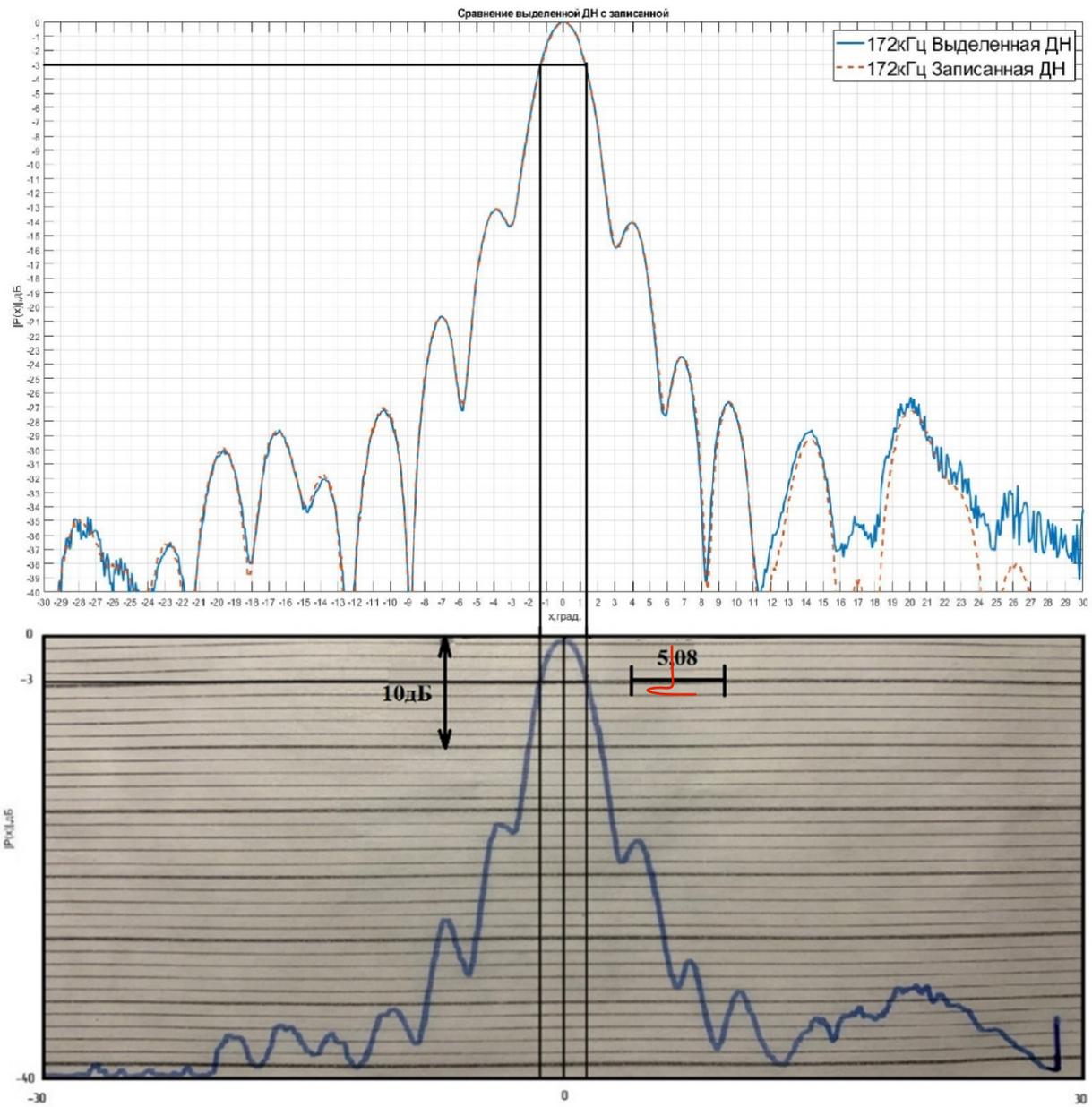


Рис. 10.

Для связи с авторами:

Давыдов Даниил

Е-mail: d.davydov505@gmail.com

Тел.: 8-988-546-86-76 (моб.)

Нерук Валерий

Е-mail: v.neruk95@gmail.com

Пивнев Петр

Е-mail: pivnev@mail.ru

Для переводчика:

ANTENNA PATTERN MEASUREMENT IN FREQUENCY BAND

This paper presents the results of laboratory measurements of radiation patterns (RP) of broadband antennas using linear frequency modulation (LFM) of the signal. The research was carried out on the basis of a unique scientific installation "Imitation-full-scale hydroacoustic complex" (UNU "INGAK") of the Department of Electrohydroacoustic and Medical Equipment of the Institute of Nanotechnologies, Electronics and Instrumentation of the Southern Federal University. A special feature of the experiment is that the registration of the antenna pattern data on the chirp signal will be carried out once, the selection of frequencies of interest is carried out by digital processing of the received data.