

# ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФРАКЦИИ ИНТЕНСИВНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ПУЧКОВ НА КРУГЛОМ ОТВЕРСТИИ

**С.Н. Гурбатов<sup>1)</sup>, П.Н. Вьюгин<sup>1)</sup>, М.С. Дерябин<sup>1), 2)</sup>,  
Д.А. Касьянов<sup>2)</sup>, В.В. Курин<sup>1)</sup>, А.В. Тюрина<sup>1)</sup>**

*1) Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»*

*2) Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук»*

# Эксперимент

- **Излучатель:** преобразователь 1 фирмы Olympus. Характеристики:  
1) импульсный режим,  $f_{\text{заполнения}} = 2$  МГц; 2)  $t=2$  мкс (длительность); 3)  $T=50$  мс (период следования); 4)  $D=45$  мм (эффективный диаметр апертуры, ограничивался до 20 мм); 5)  $P_0=1$  МПа (характерная амплитуда акустического давления).
- **Экран 2** с отверстием диаметра  $d=2$  мм ( $z=250$  мм от апертуры излучателя).
- **Плоскость измерений 3** с размерами 100 мм х 20 мм. Область измерений располагалась на расстоянии 20 мм от экрана.
- **Приемник:** мембранный гидрофон ДН0902: полоса частот до 100 МГц.

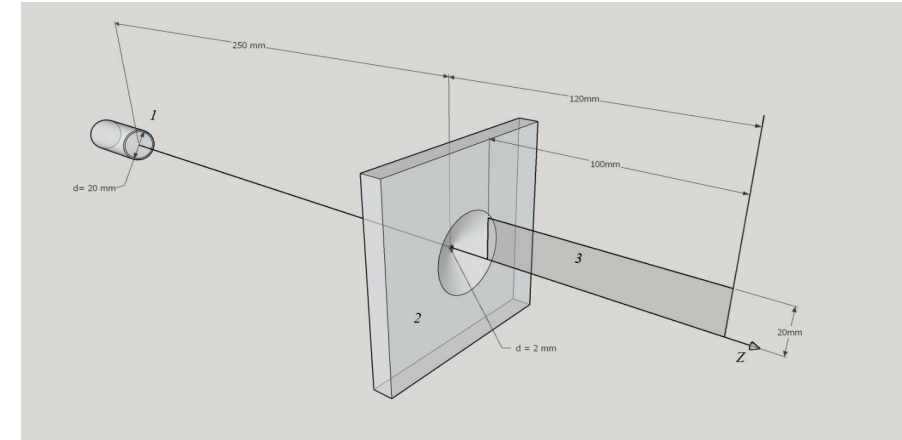


Рис. 1. Схема эксперимента

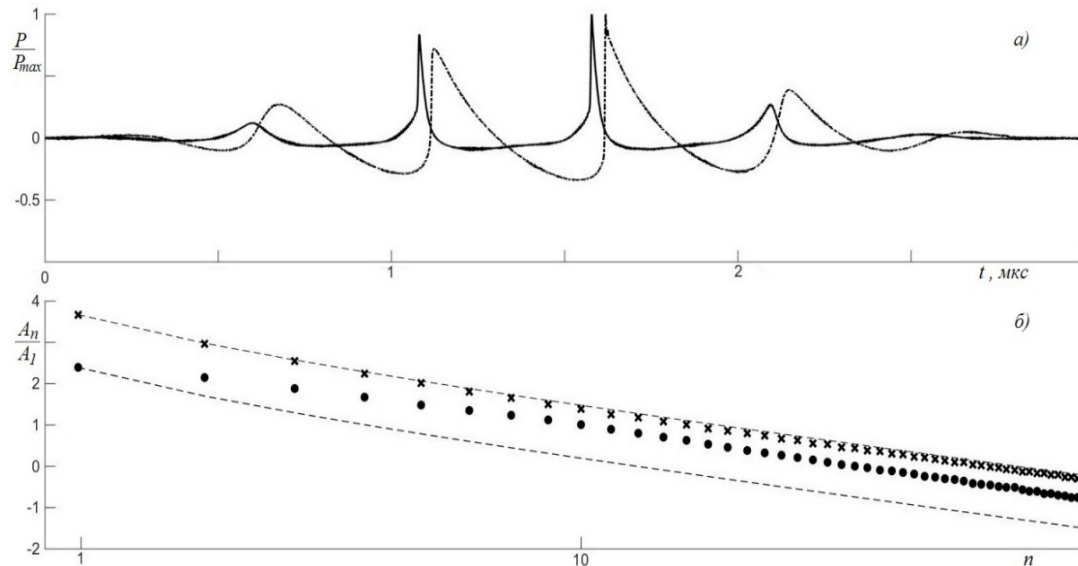


Рис. 2: а) Осциллограммы падающей пилообразной волны (сплошная линия) и продифрагированной на отверстии волны (пунктирная линия); б) Амплитудные спектры падающей пилообразной волны (крестики) и продифрагированной на отверстии волны (точки)

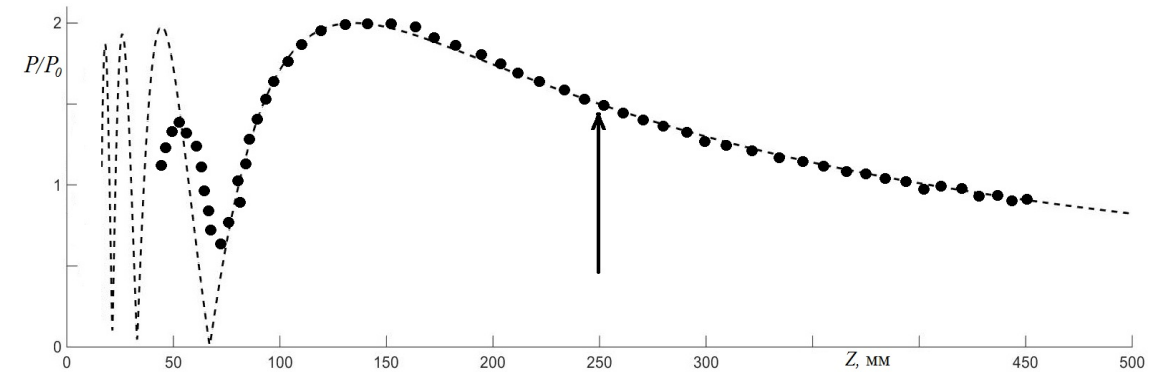


Рис. 3: Распределение амплитуды акустического давления регистрируемого сигнала вдоль акустической оси в отсутствии экрана

## Численное моделирование

Для теоретического исследования распространения продифрагированных интенсивных акустических пучков на круглом отверстии использовался ранее разработанный алгоритм, основанный на использовании уравнения Хохлова-Заболотской-Кузнецова.

Моделирование осуществлялось в три основных этапа:

- 1) рассчитывалось распределение поля акустического давления по плоскости, перпендикулярной акустической оси излучателя и расположенной на расстоянии 250 мм от апертуры излучателя (дистанция до экрана как в эксперименте);
- 2) на рассчитанное распределение накладывался пространственный фильтр, приближенно имитирующий воздействие отверстия;
- 3) результирующее распределение поля после пространственной фильтрации использовалось в качестве начальных условий, и моделировалось дальнейшее распространение профиля волны на нескольких расстояниях: 2 см, 4 см, 8 см и 12 см.

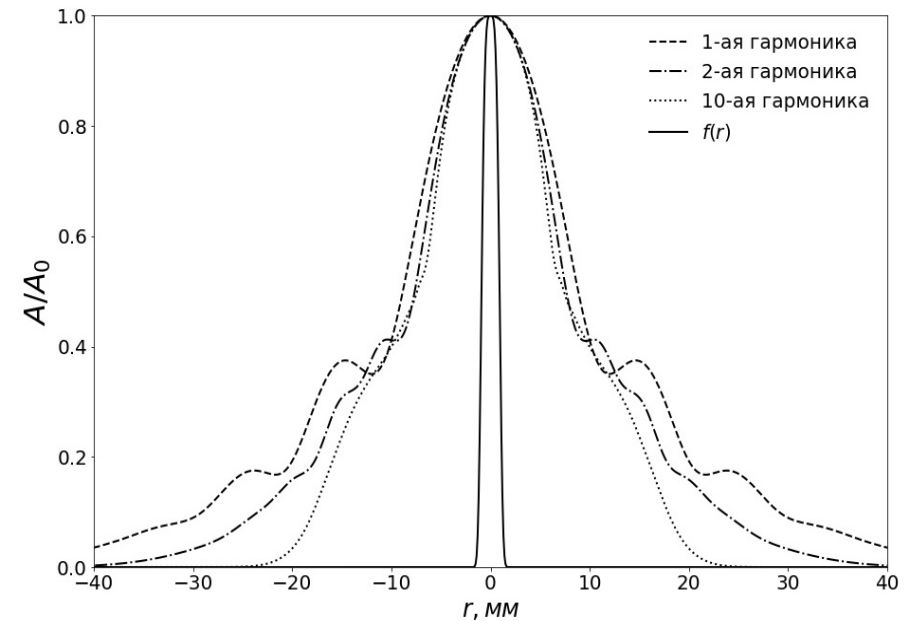


Рис. 4. Поперечное распределение спектральной амплитуды 1-ой, 2-ой и 10-ой гармоник пилообразного профиля волны на расстоянии 250 мм от апертуры излучателя,  $f(r)$  – форма пространственного фильтра

## Отверстие диаметром 2 мм: сравнение с экспериментом

Рассматривались следующие модели:

- описание с помощью уравнения ХЗК (нелинейность + дифракционные эффекты);
- квазилинейный режим (линейный режим + дифракционные эффекты).

### Основные результаты:

- 1) моделирование с помощью уравнения ХЗК хорошо описывает изменение формы профиля;
- 2) в линейной теории дифракции сигнал имеет более короткий по времени положительный полупериод, при этом крутизна ударного фронта в профиле волны быстро размывается по мере распространения. На спектральной характеристике данные процессы выражаются в резком спадании высокочастотных гармоник;
- 3) нелинейные эффекты оказывают существенное влияние на профиль и спектр акустической волны, по мере распространения волны происходит подкачка энергии высокочастотных компонент спектра, тем самым компенсируется их дифракционная расходимость.
- 4) наличие плавного подъема амплитуды сигнала перед ударным фронтом в эксперименте (показано стрелкой) связано с низкочастотными компонентами сигнала, прошедшими через экран, но не испытывавшими в полной мере дифракцию на отверстии.

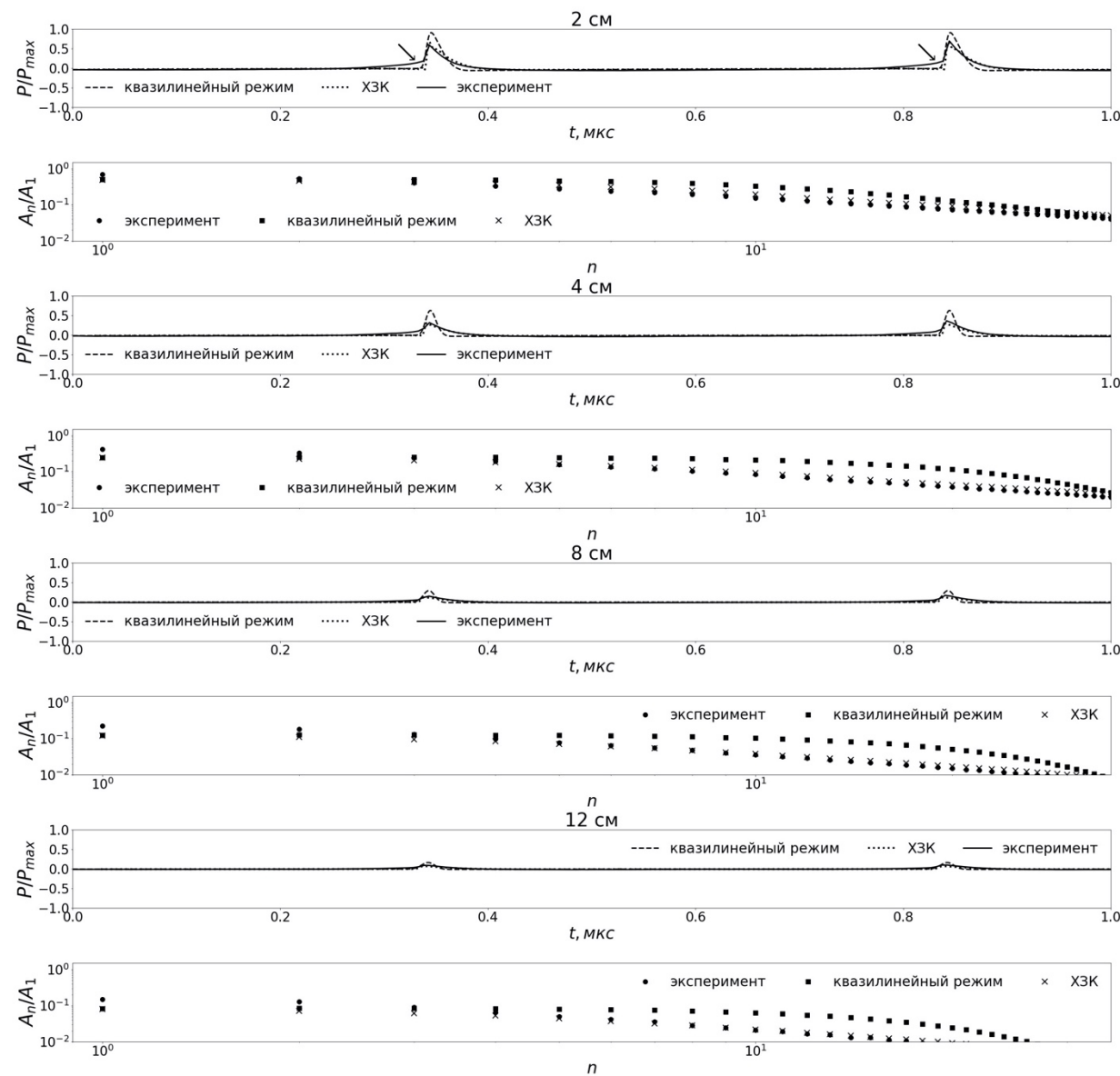


Рис. 5. Сравнение экспериментальных данных с результатами численного моделирования

# Отверстие диаметром 1 мм

Рассматривались следующие модели:

- 1 модель: описание с помощью уравнения ХЗК (нелинейность + дифракционные эффекты);
- 2 модель: квазилинейный режим (линейность + дифракционные эффекты);
- 3 модель: описание с помощью линейного режима и уравнения Бюргерса (линейность + дифракционные эффекты на 1 этапе + нелинейность на 2 этапе).

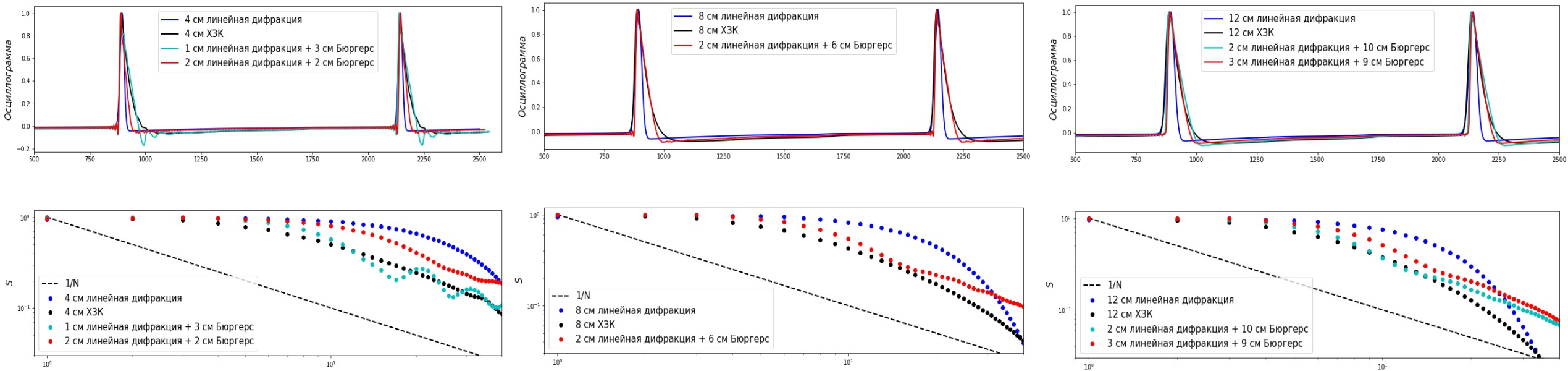


Рис. 6. Сравнение различных моделей дифракции пилообразных волн на круглом отверстии

**Основные результаты:** 3 модель комбинации 2-х режимов достаточно точно описывает профили продифрагированных волн. Кроме того, для всех трех расстояний можно выделить одинаковую дистанцию линейного режима 2 см, после чего начинают сказываться нелинейные эффекты.

## Заключение

- Прошедшая через круглое отверстие волна имеет пилообразную форму профиля с высокочастотным положительным полупериодом большой амплитуды и низкочастотным отрицательным полупериодом малой амплитуды.
- Нелинейные эффекты в продифрагированной на круглом отверстии волне оказывают существенное влияние на профиль и спектр акустической волны несмотря на дифракционную расходимость после прохождения отверстия.
- Предложенные численные модели дают хорошую точность для описания профилей и спектров продифрагированной волны на различных расстояниях от экрана.