

VII ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ
ЭКСПЕРИМЕНТ
В АЭРОАКУСТИКЕ



17-22 сентября 2018 года, г. Светлогорск Калининградской области

АЭРОАКУСТИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В СВЕРХЗВУКОВОЙ СТРУЕ ПРИ НАЛИЧИИ ТОНКОЙ ПРЕГРАДЫ

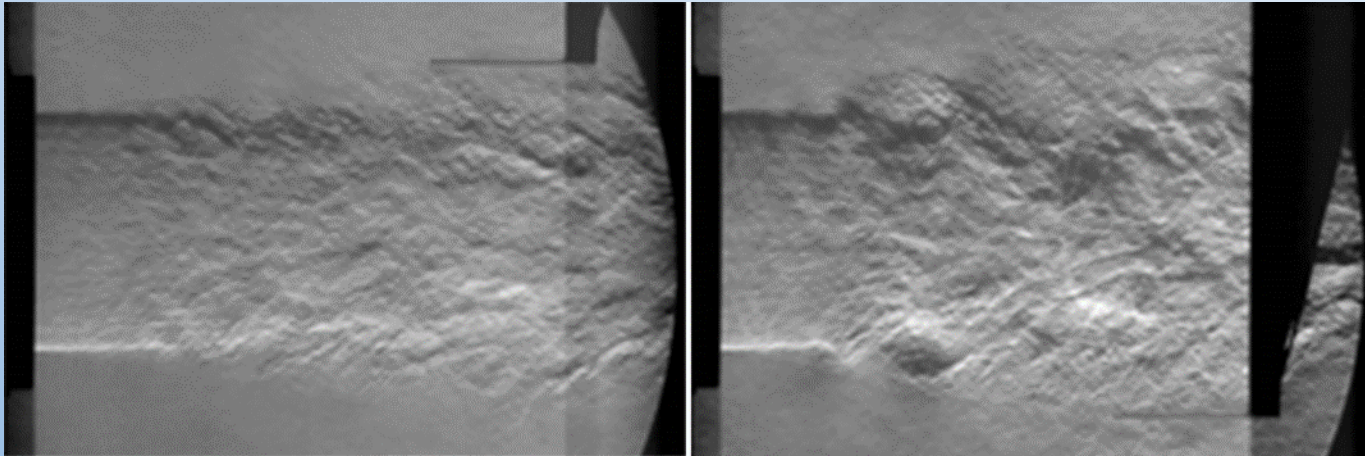
Д.А. Губанов^{1,2}, В.И. Запрягаев¹, Н.П. Киселев¹

¹ИТПМ СО РАН им С.А. Христиановича, Новосибирск

²Новосибирский государственный университет, Новосибирск

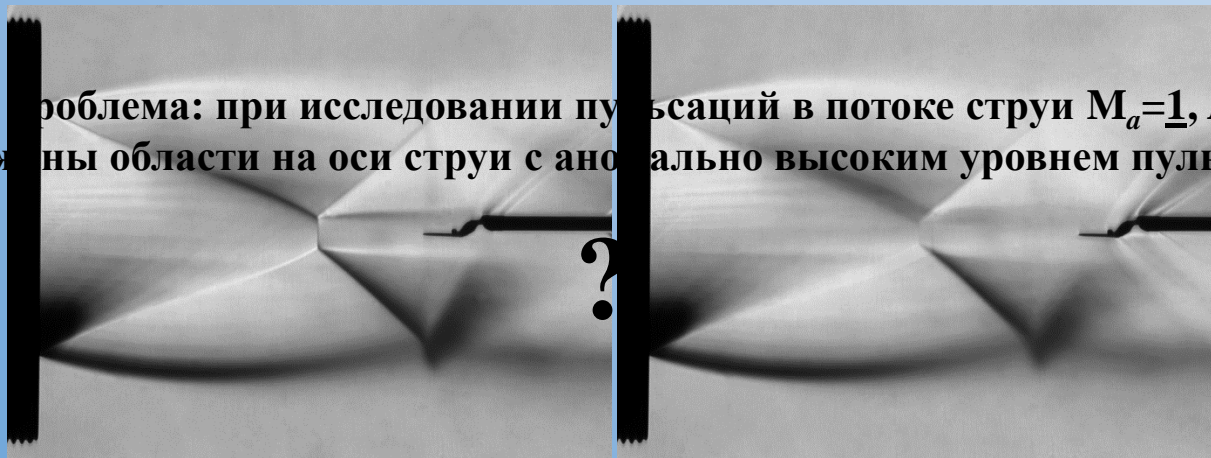
Введение

Проблема: влияние пилона с датчиком на исследуемый потока во время зондовых измерений.



Мгновенная шлирен-визуализация течения струи $M_a=0,85$, $D_a=60$ мм при малом (слева) и большом (справа) погружении трубки Пито в поток (Т-326 ИТПМ СО РАН)

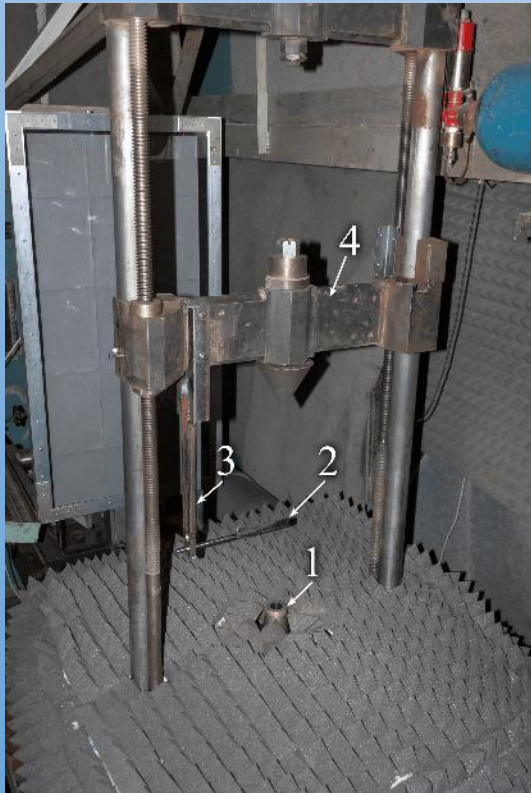
Локальная проблема: при исследовании пульсаций в потоке струи $M_a=1$, $N_{pr}=4$ были обнаружены области на оси струи с аномально высоким уровнем пульсаций.



Осредненная шлирен-визуализация течения **сверхзвуковой** недорасширенной струи $M_a=1$, $N_{pr}=4$, $D_a=30$ мм при разных положениях зондирующего датчика термоанемометра и удерживающего его пилона (Т-326 ИТПМ СО РАН)

Экспериментальное оборудование и методика

- Вертикальная струйная установка (ВСУ ИТПМ СО РАН) с открытой рабочей частью.
- Полированные сопла основной струи **1**:
 - 1.) Конвергентное сопло Витошинского $D_a = 30$ мм, режим истечения: $M_a = 1$ и $N_{pr} = 4$.
 - 2.) Профилированное сопло $M_d = 2$, $D_a = 30$ мм, режим истечения: $M_a = 2$, $N_{pr} = 5$ и $N_{pr} = 12$.
- Управляемая траверса **4**
Движение по оси z , точность позиционирования 60 мкм.
- Тонкая преграда **2** на опоре **3**:
Возможность регулировки наклона и выноса r/D_a (внешние габариты $140 \times 38 \times 5$ мм³).



Вертикальная струйная установка
ИТПМ СО РАН



Тонкая преграда

Экспериментальное оборудование и методика

- **Микроструйная установка:**

6 равноудаленных конических сопел $D_{aj}=0,7$ мм
(смещение от среза основного сопла:
по оси - $0,083 \cdot D_a$,
по радиусу - $0,6 \cdot D_a$).

Вдув микроструй по нормали к основной струе.

- **Микрофон Microtech Gefell МК-221 (20 Гц-20 кГц).**

Расстояние до центра среза сопла $r_m/D_a=40$
(дальнее акустическое поле),
наклон 50° к оси струи.

Процедура измерения:

Запуск движения преграды от среза сопла с синхронной записью акустического излучения струи, обработка оконным БПФ.

Параметры БПФ:

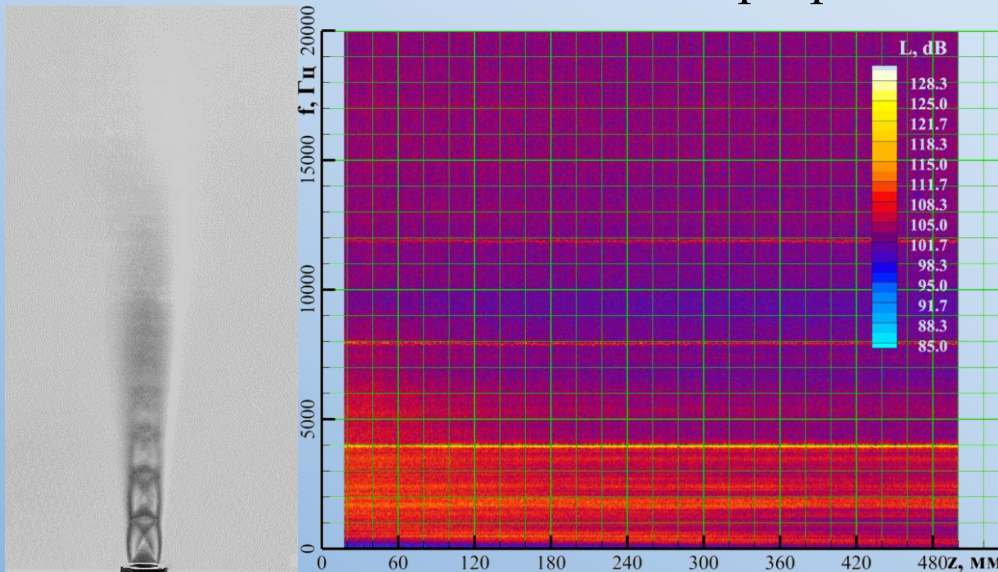
полоса частот - 39 Гц,
разница в координате пилона между началом и концом окна
Фурье составляет 56 мкм.

Построение спектрограмм шума струи в зависимости от продольной координаты и ориентации пилона.



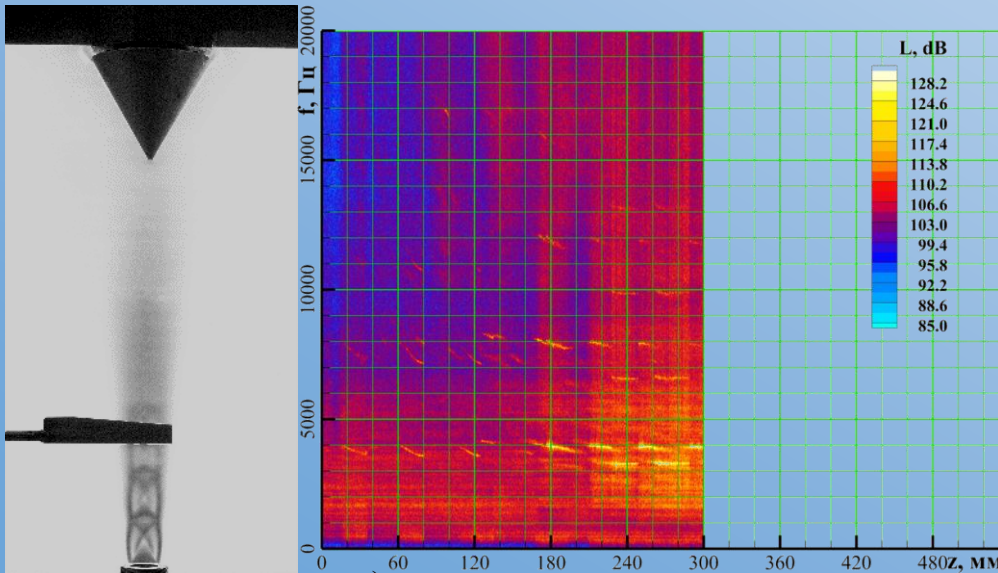
Микросопловая установка и тонкая преграда

Влияние тонкой преграды на шум струи $M_a=1$, $N_{pr}=4$



Визуализация (слева) и спектрограмма (справа) невозмущенной струи при движении траверсы

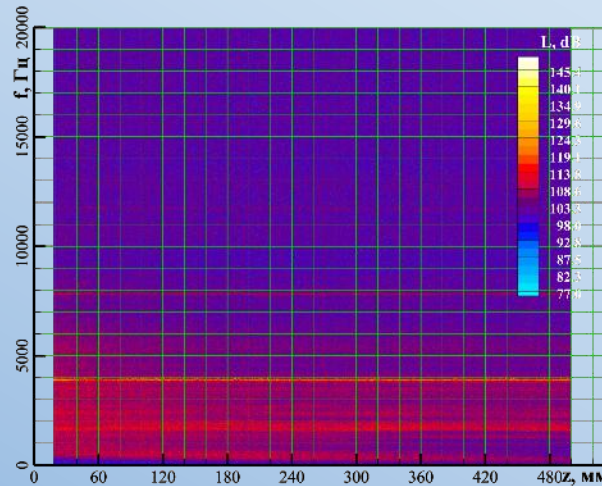
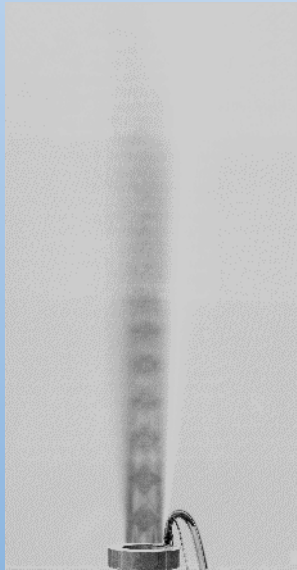
- Шум невозмущенной струи при перемещении траверсы без преграды - шум смешения, ударно-волновой шум и дискретный тон с обертонами на частоте около 4 кГц.
- Отмечена влияние параметров окружающей среды на выбор доминирующей моды дискретного тона (3,3 или 4 кГц).
- Уменьшение амплитуды низкочастотных пульсаций с ростом z можно объяснить движением массивной стальной траверсы, обладающей хорошей отражающей способностью.



Визуализация (слева), спектрограммы струи при наличии тупой преграды при $r/D_a < -0,5$ (справа)

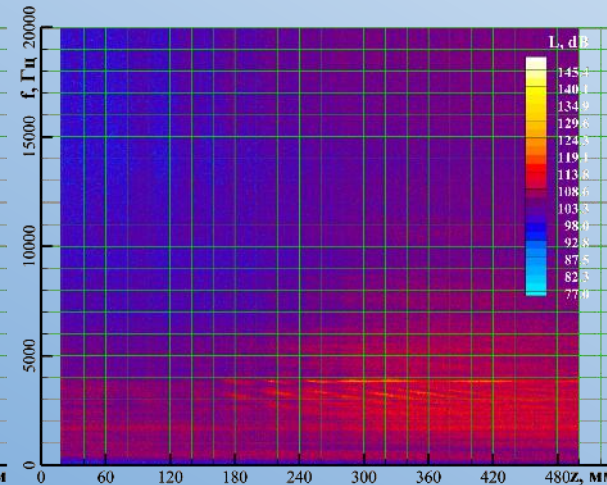
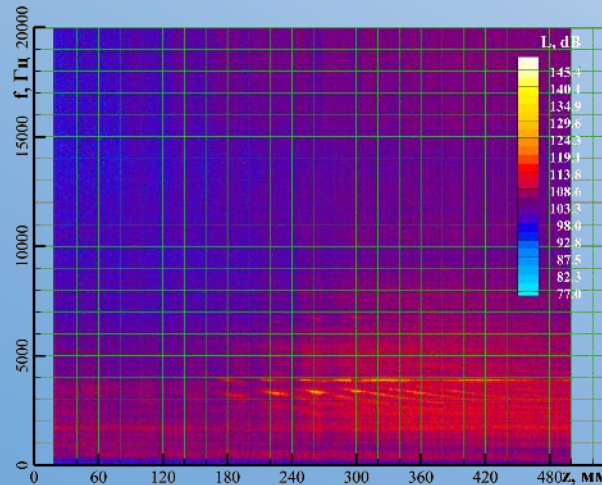
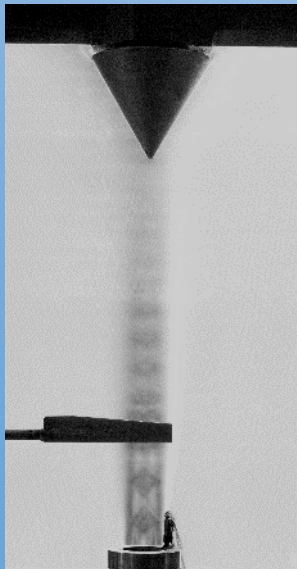
- Ввод пилона в поток ($r/D_a < 0$) приводит к перестройке дискретной частоты и увеличению низкочастотного шума (при $z > 190$ мм). Частота дискретного тона меняется в узком значении частот с изменением z .
- Существуют положения преграды при $z < 170$ мм для которых тональный шум отсутствует.
- Для $z > 170$ мм происходит периодическое переключение тона с 4 кГц на 3,3 кГц.

Влияние тонкой преграды на шум струи $M_a=1$, $N_{pr}=4$ при наличии микроструй



Визуализация (слева) и спектрограмма (справа) струи с вдувом микроструй при движении траверсы

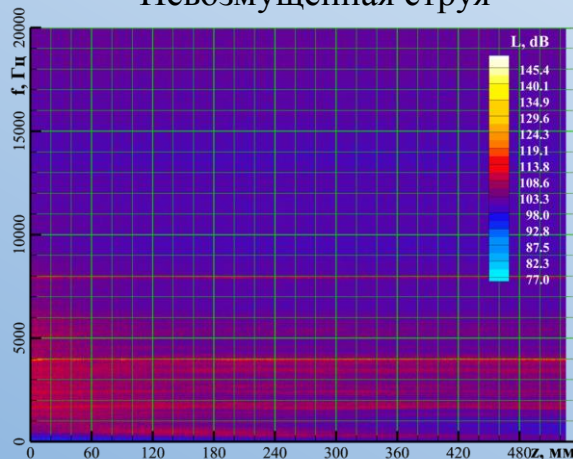
- Наличие микросоплового насадки приводит к небольшому понижению частоты дискретного тона.
- Установлено, что вдув микроструй приводит к подавлению дискретных составляющих шума на расстоянии $z < 170$ мм (разрушение обратной акустической связи).
- По результатам растровой визуализации длина грибовидных структур от вдува микроструй составляет около 172 мм. Для z больше ≈ 170 мм дискретный тон начинает существовать одновременно при нескольких частотах (независимые участки).
- Тон при $\approx 3,2$ кГц отслеживает рост z изменением своей частоты в диапазоне 3-3,4 кГц.



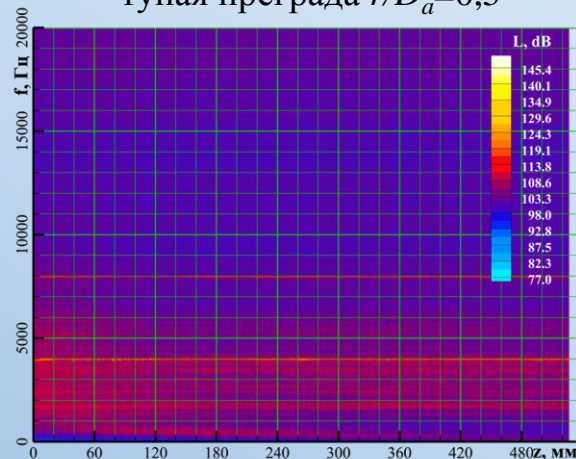
Визуализация (слева), спектрограммы струи при наличии тупой преграды при $r/D_a < -0,5$ и вдува микроструй $N_{prj}=1,6$ (центр) и $N_{prj}=4,3$ (справа)

Влияние тонкой преграды на шум струи $M_a=2$, $N_{pr}=5$

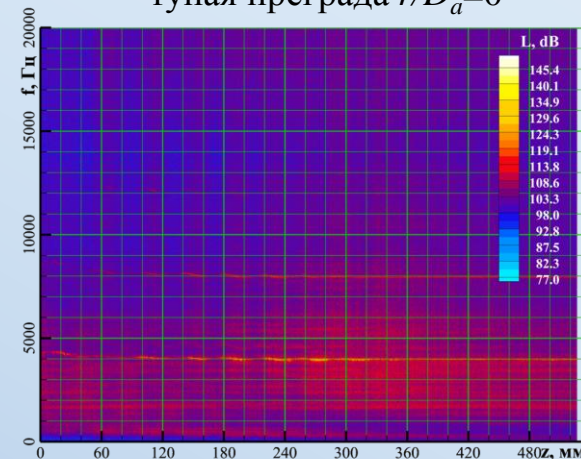
Невозмущенная струя



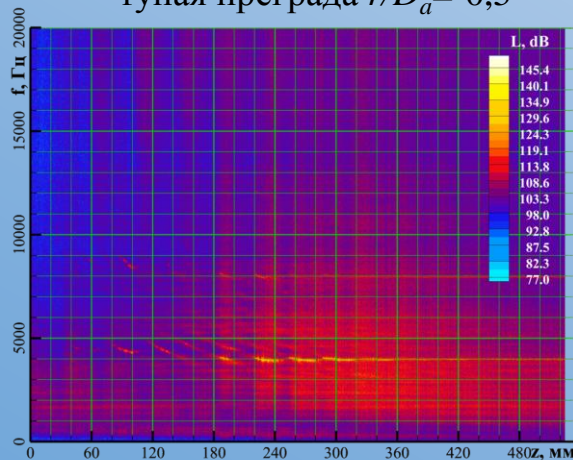
тупая преграда $r/D_a=0,5$



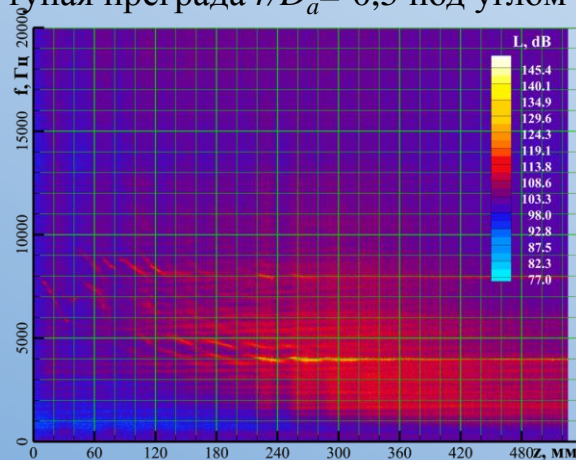
тупая преграда $r/D_a=0$



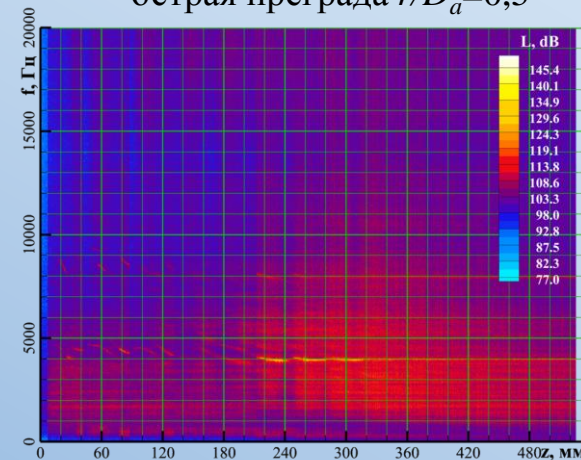
тупая преграда $r/D_a=-0,5$



тупая преграда $r/D_a=-0,5$ под углом 10°



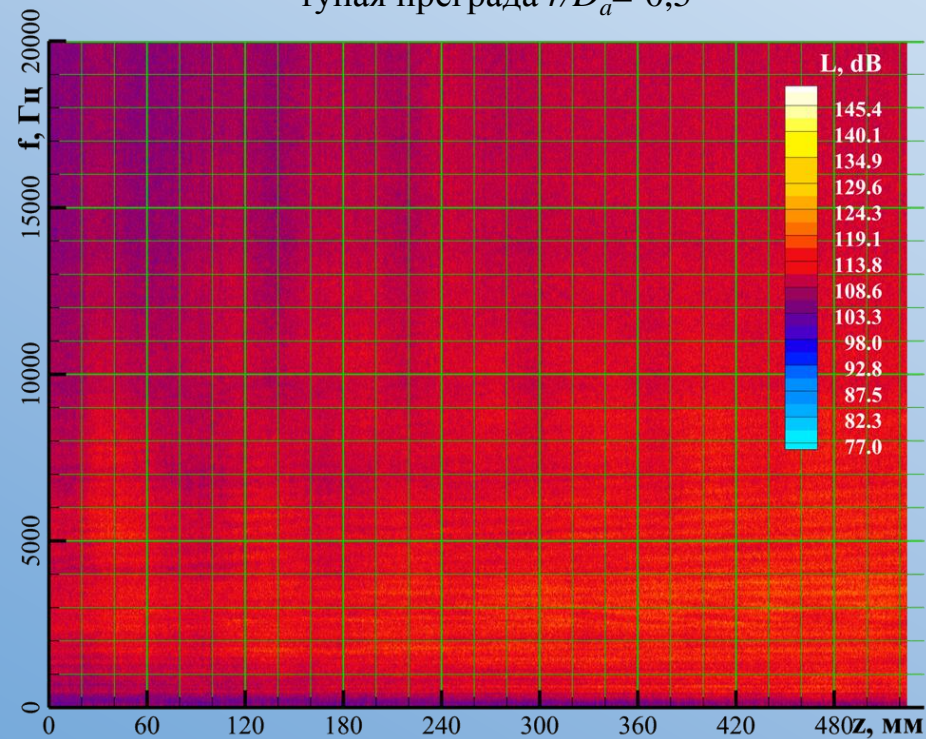
острая преграда $r/D_a=0,5$



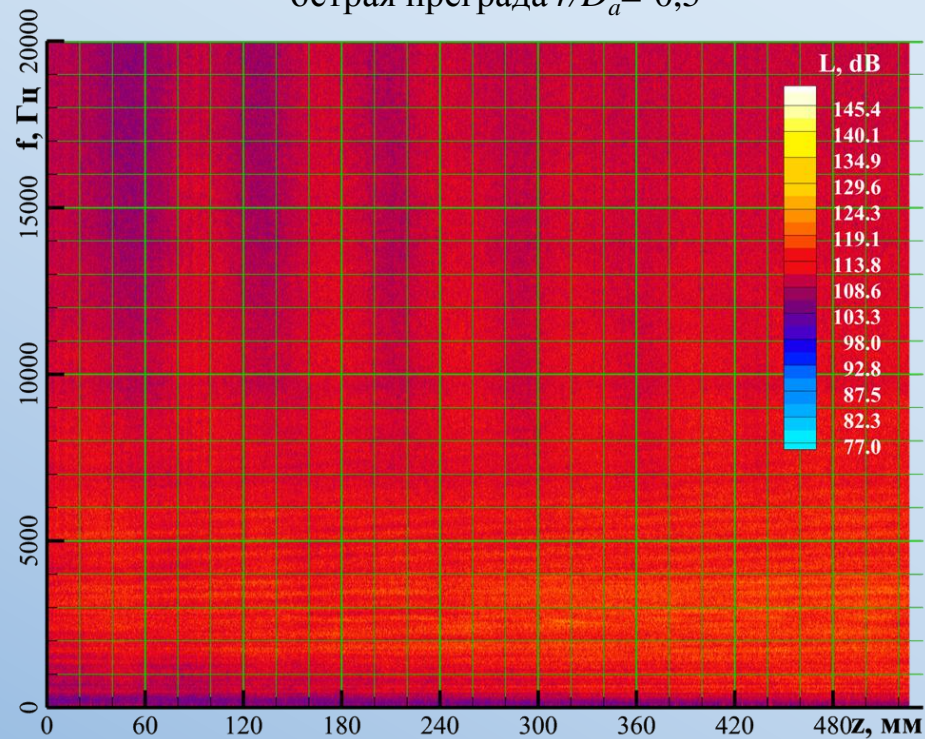
- Влияние преграды схоже со струей $M_a=1$, $N_{pr}=4$.

Влияние тонкой преграды на шум струи $M_a=2$, $N_{pr}=12$

тупая преграда $r/D_a=-0,5$



острая преграда $r/D_a=-0,5$

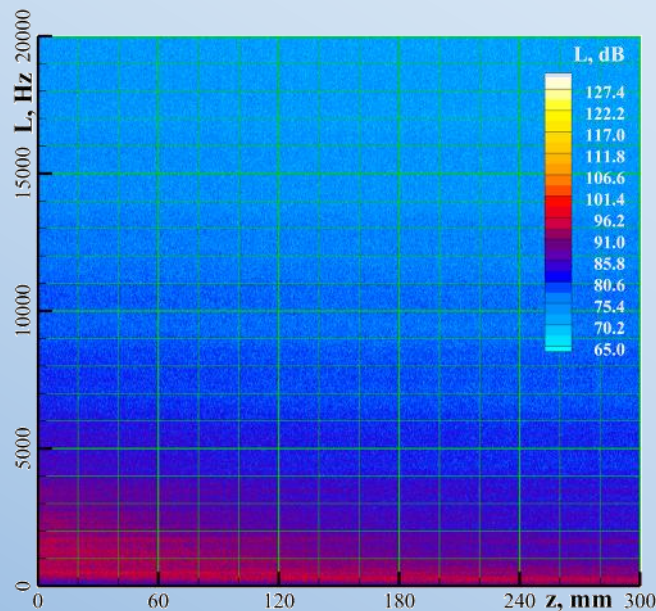
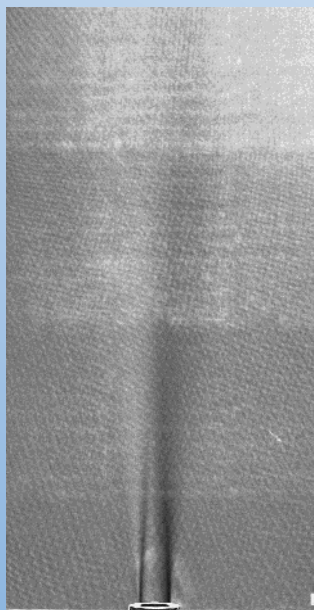


- Уперлись в ограничение микрофонного капсюля по уровню шума ☹
- Есть признаки периодических изменений уровня шума во всем частотном диапазоне при увеличении расстояния от пилона до среза сопла z .

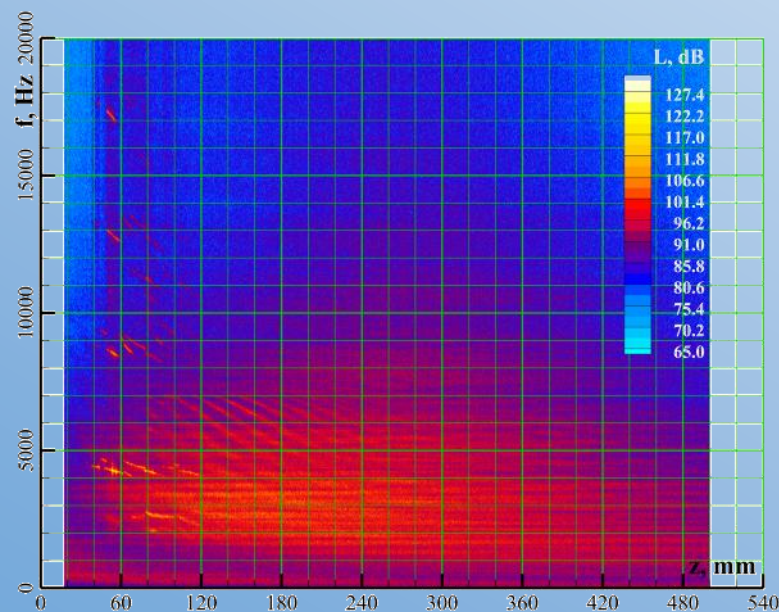
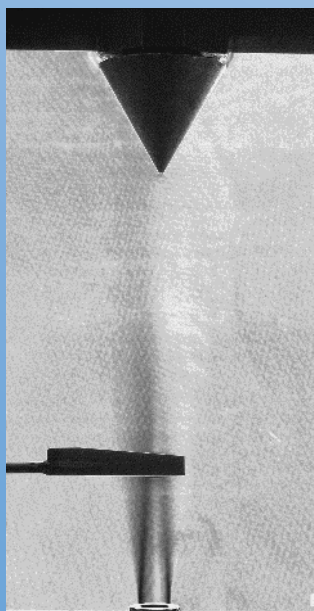
Выводы

- Обнаружено влияние значительного ввода в поток сверхзвуковых струй тонкого пилона на их пульсационные характеристики и акустическое излучение, что выражается в росте низкочастотных пульсаций, появлении новых и изменения характеристик уже существующих дискретных тонов.
- Показано существование механизма передачи возмущений от преграды заключающееся в том, что пульсации от пилона замыкают автоколебательный контур через акустическое излучение, распространяющееся от струи через окружающую среду.
- Продемонстрировано подавление обратной акустической связи в высокоскоростных струях при помощи поперечного вдува микроструй.
- Вопросы больше чем ответов.

Влияние тонкой преграды на шум струи $M_a=0,85$



Визуализация
(слева) и
спектрограмма
(справа)
невозмущенной
струи при движении
траверсы



Визуализация
(слева),
спектрограммы
струи при наличии
тупой преграды
при $r/D_a < -0,5$
(справа)