

Численное моделирование акустических возмущений, генерируемых истечением струи при малых числах Рейнольдса

Епихин Андрей, к.т.н

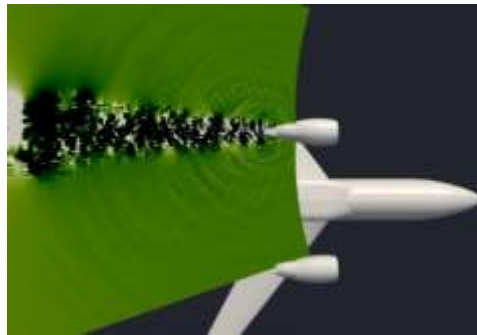
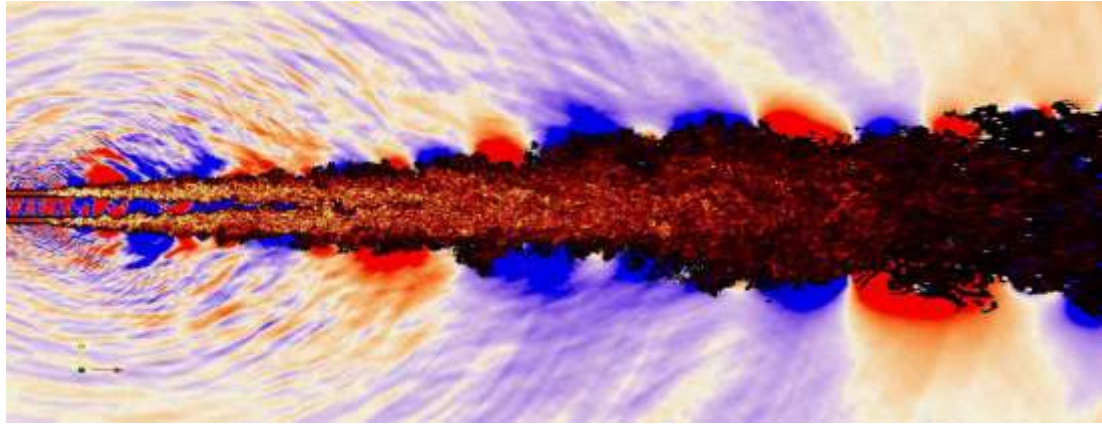
Матвей Крапошин, к.ф.-м.н

Институт системного программирования им. В.П. Иванникова РАН

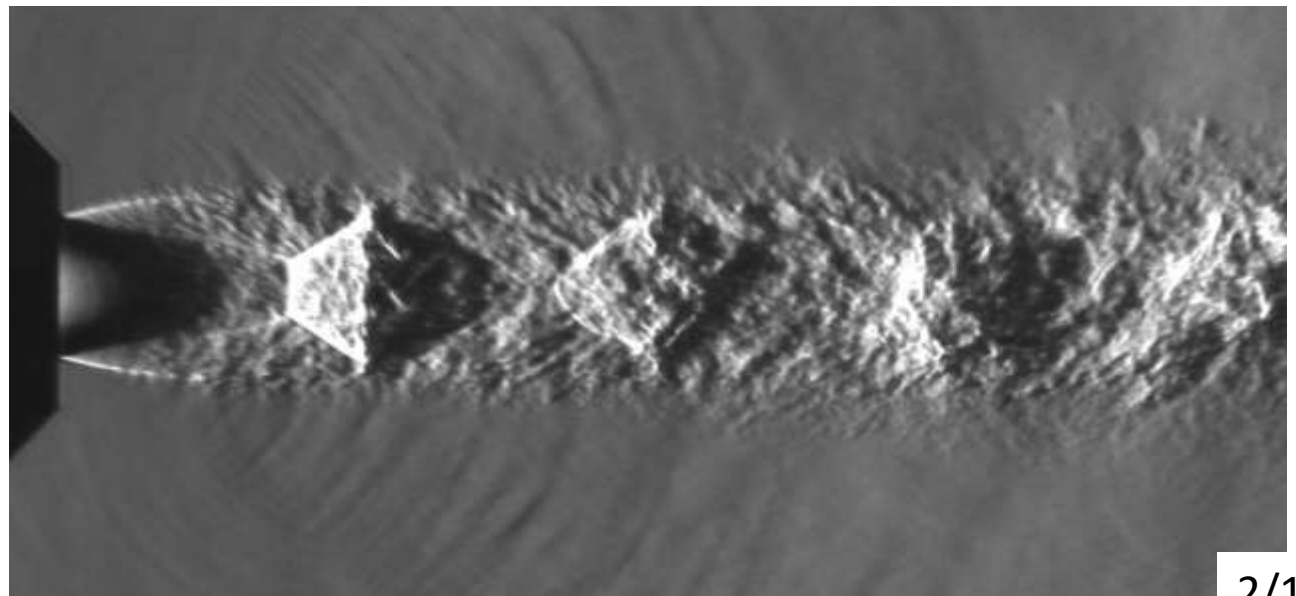
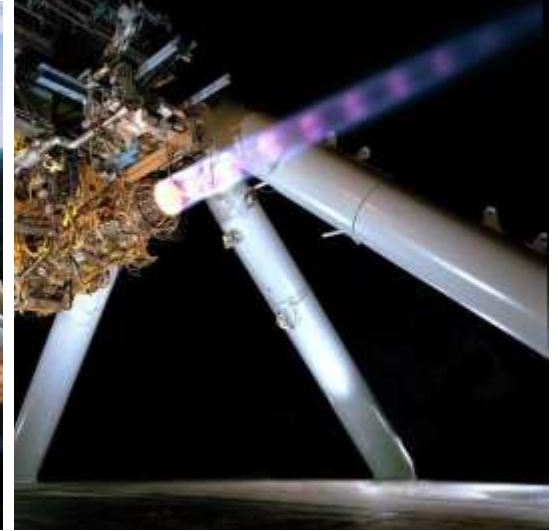
Москва, 2018

Актуальность

Дозвуковые струи



Сверхзвуковые струи



Экспериментальные исследования истечения струй при малых числах Рейнольдса

Авторы:

J. L. Stromberg

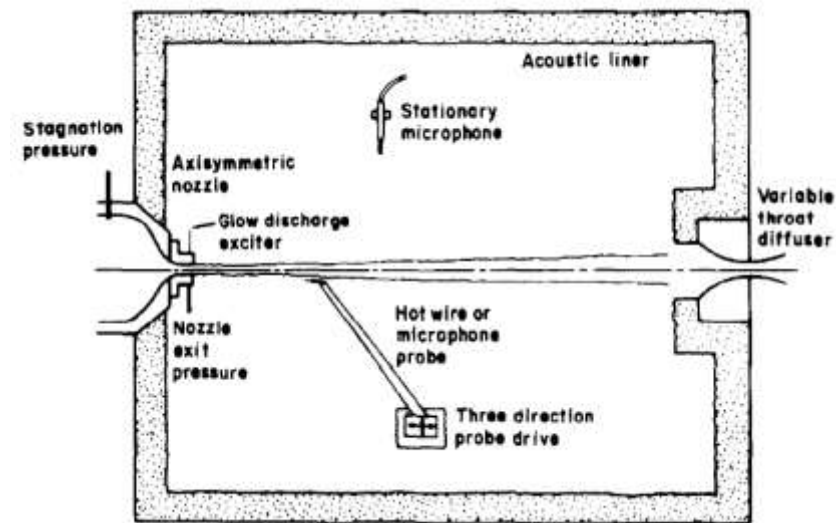
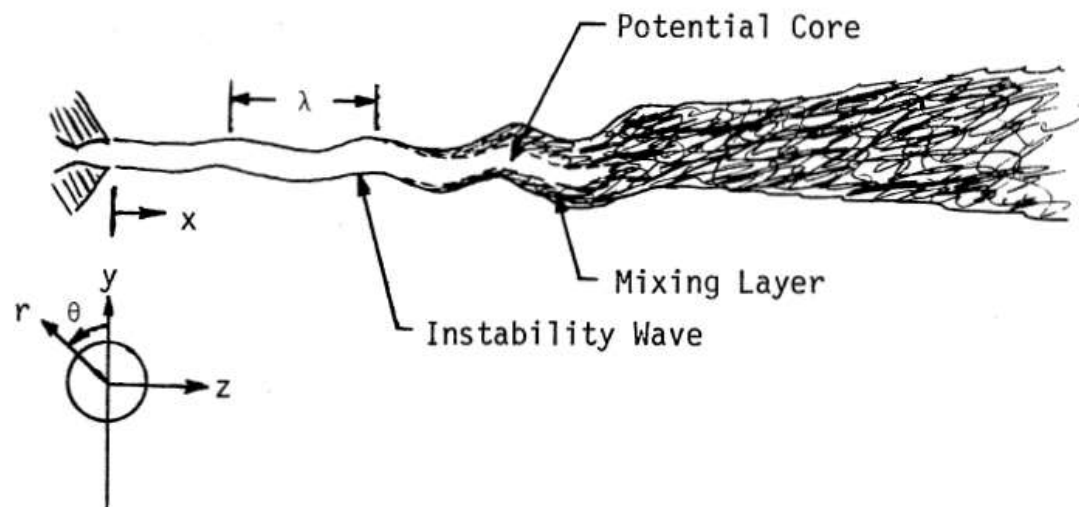
G. L. Morrison

D. K. McLaughlin

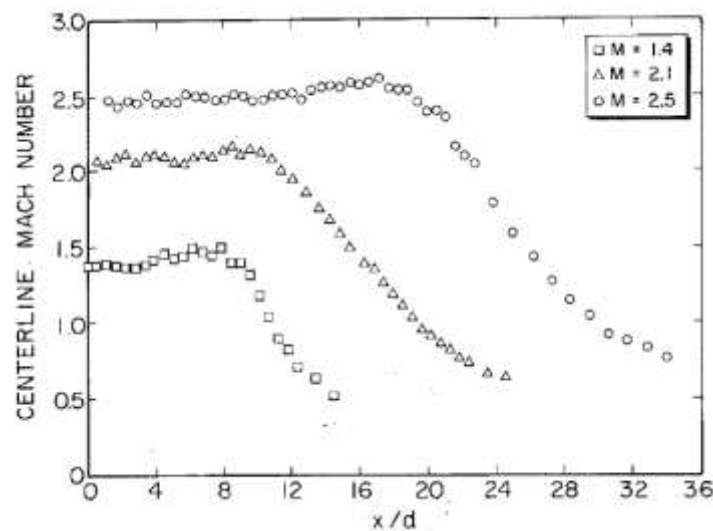
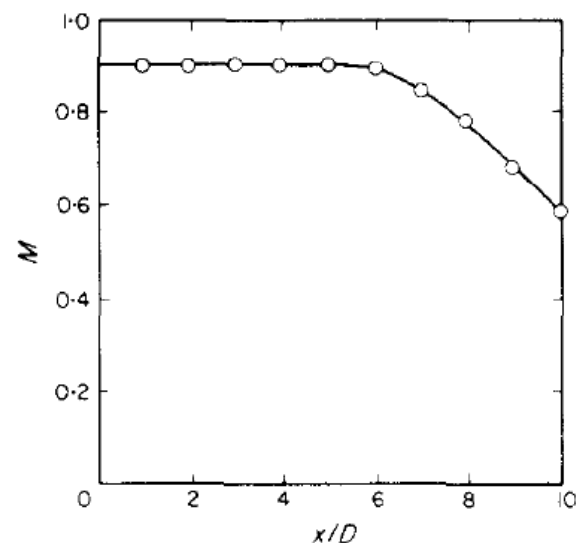
T. R. Troutt

$M = 0.9; 1.4; 2.1; 2.5$.

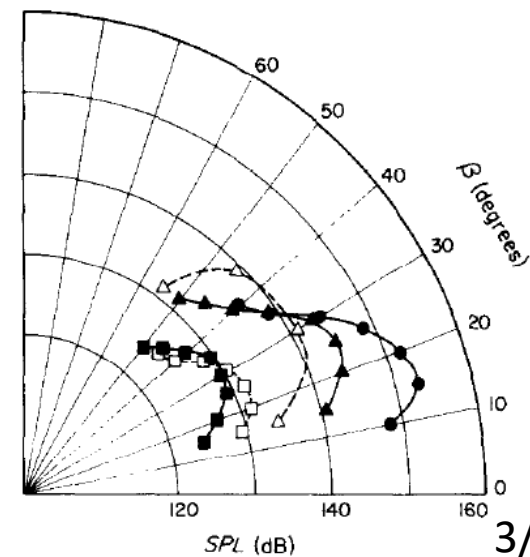
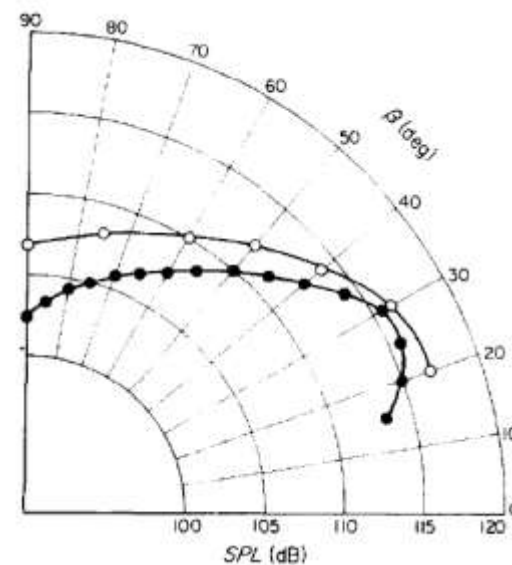
$Re = 3600; 7900; 8700$.



Распределение числа Маха



Акустические возмущения



Постановка задачи истечения струи

Начальные условия:

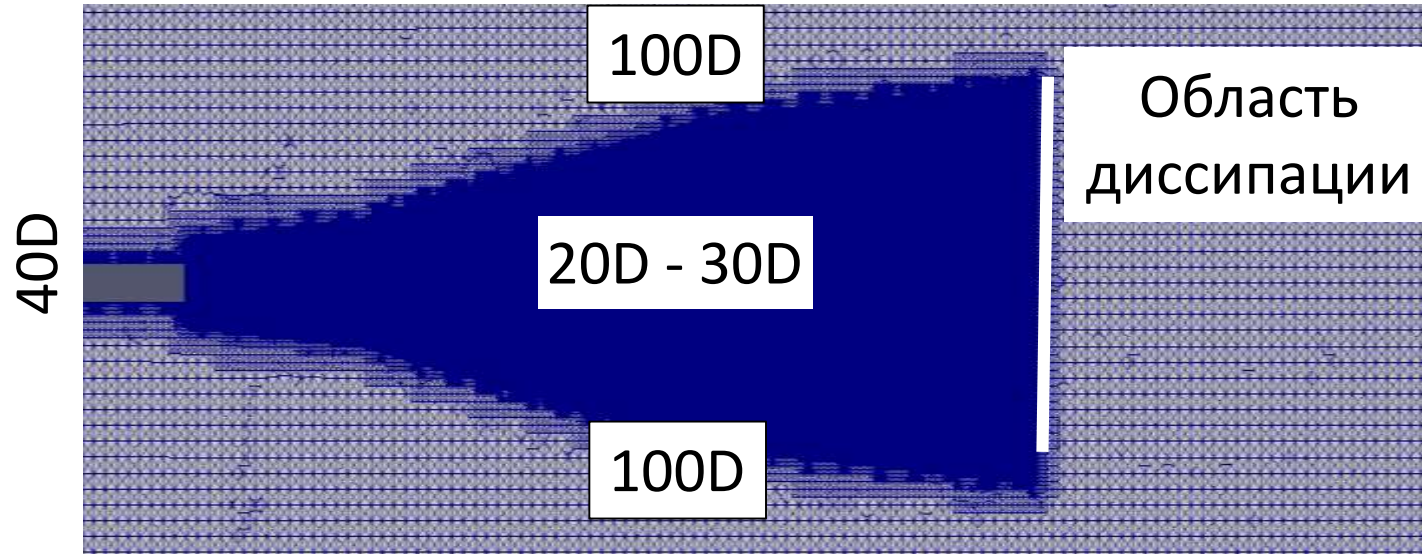
$$M = 0.9$$

$$Re = 3600$$

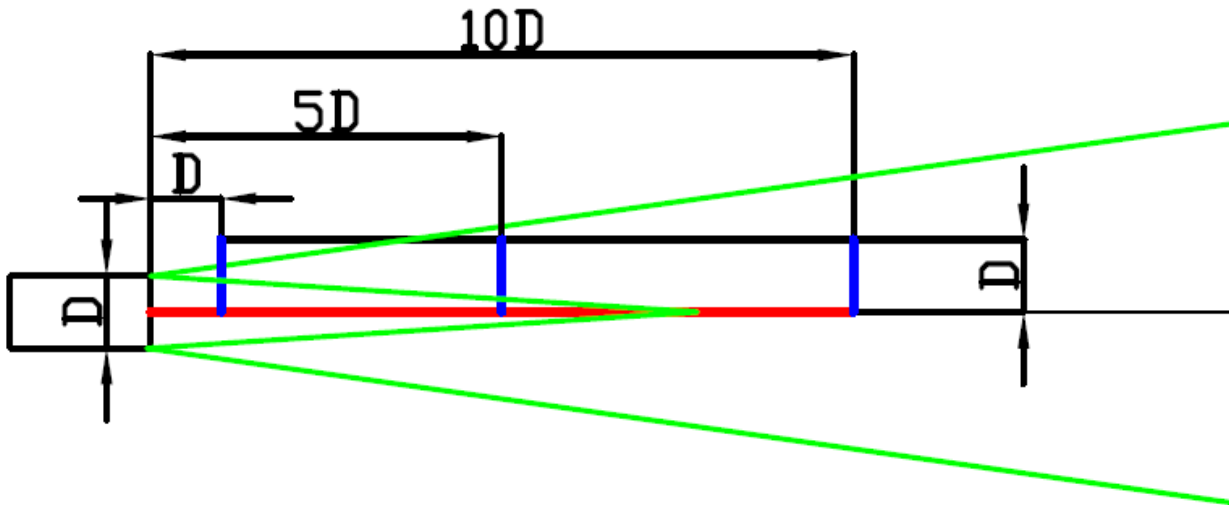
$$D = 0.0079 \text{ м}$$

$$P_c = 0.018 P_{atm}$$

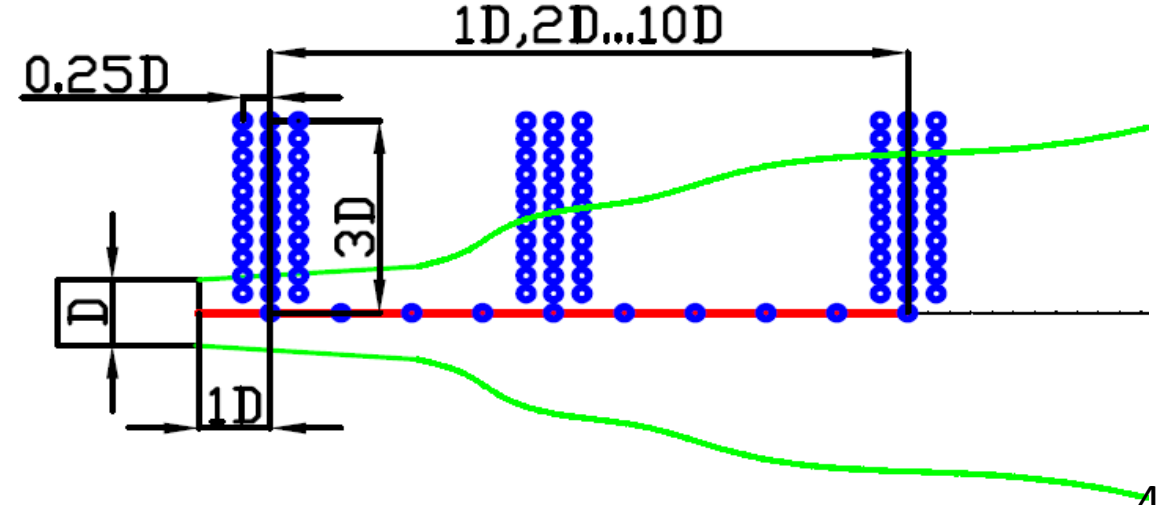
$$T_0 = 297 \text{ К}$$



Определение осредненных параметров



Определение пульсационных параметров



Рассматриваемые расчетные случаи

№	Количество ячеек, приходящихся на диаметр среза сопла	Общее количество ячеек сетки
1	10	$3 \cdot 10^6$
2	30	$12 \cdot 10^6$
3	40	$36 \cdot 10^6$
4	50	

OpenFOAM - 4.1

rhoCentralFoam
pimpleCentralFoam

MinMod
vanLeer
hybrid

Laminar
Turbulent

Mesh = var
U(r) = const
U(r) = Func
Tu = 0%; 1%;
5%

libAcoustics

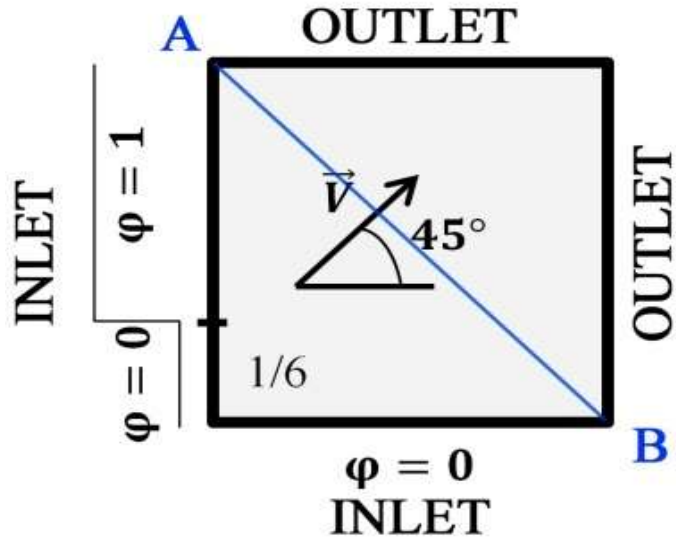
OpenFOAM–extend 3.1

dbnsTurbFoam

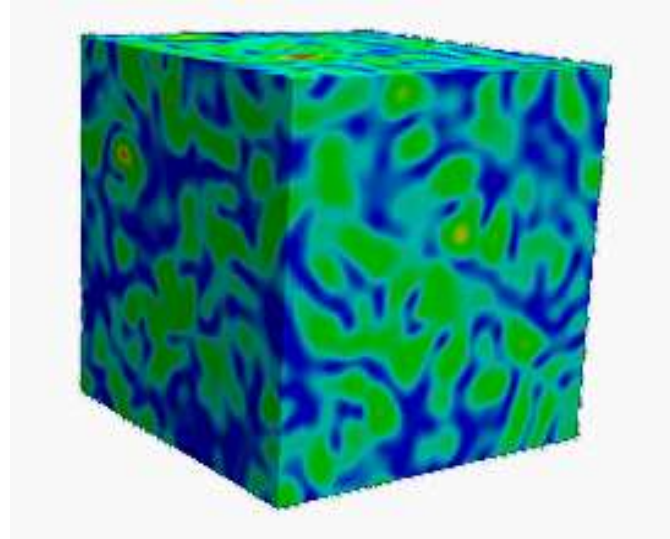
HLLC

Принцип работы гибридной схемы

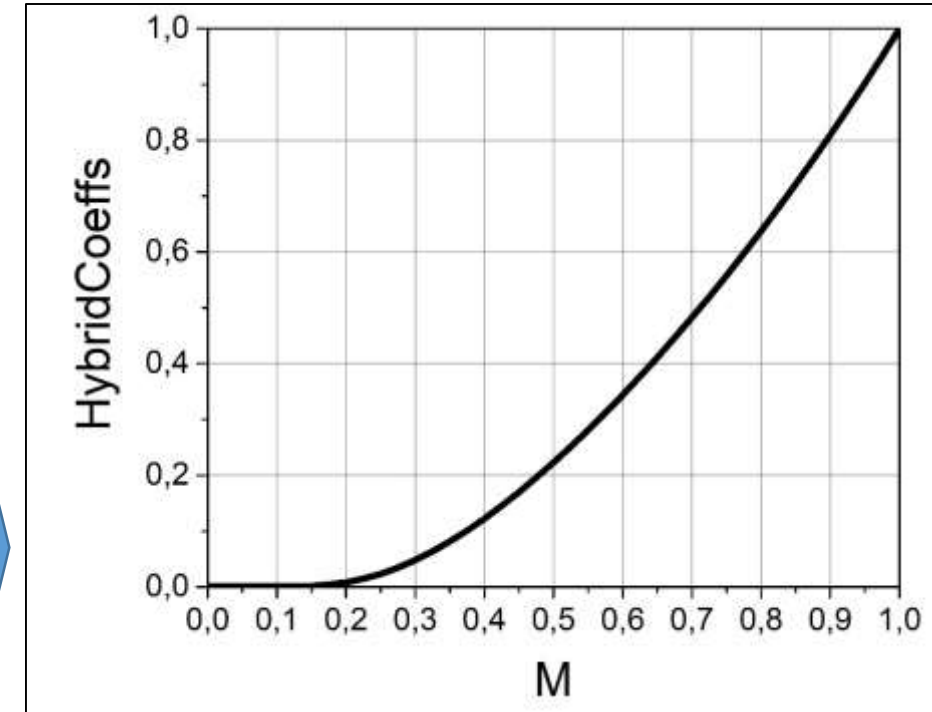
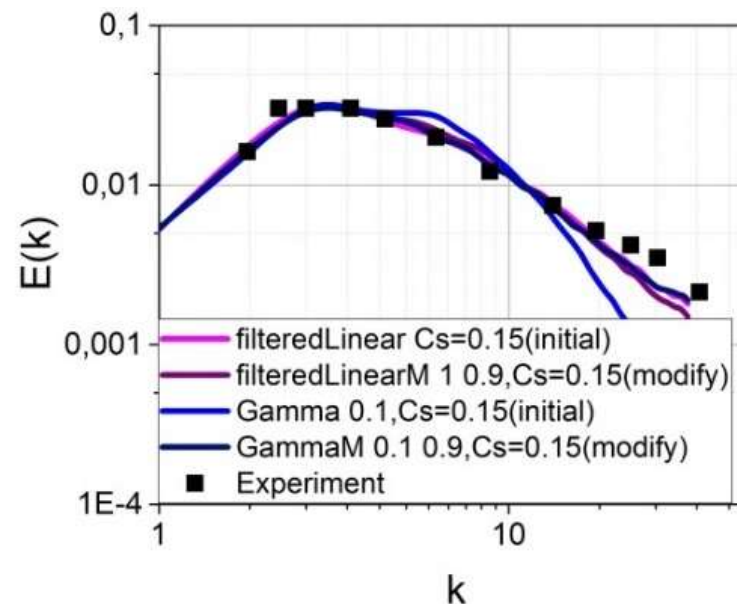
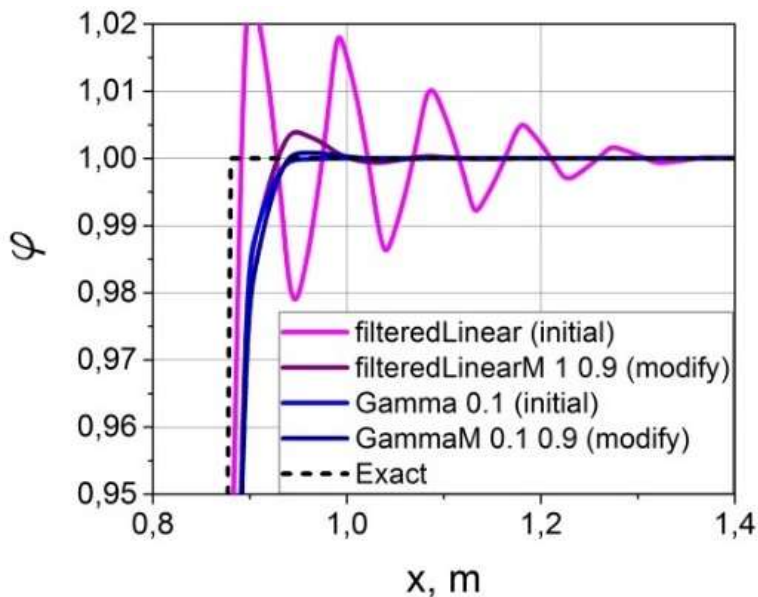
Постановка задачи переноса скаляра



Задача о вырождении однородной Изотропной турбулентности



hybridScheme



$$(1 - \text{hybridCoeffs}) * \text{SCHEME1} + \text{hybridCoeffs} * \text{SCHEME2}$$

Библиотека libAcoustics

Curle

FWH

Visualisation,
data

libAcoustics

Postprocessing

OpenFOAM solvers

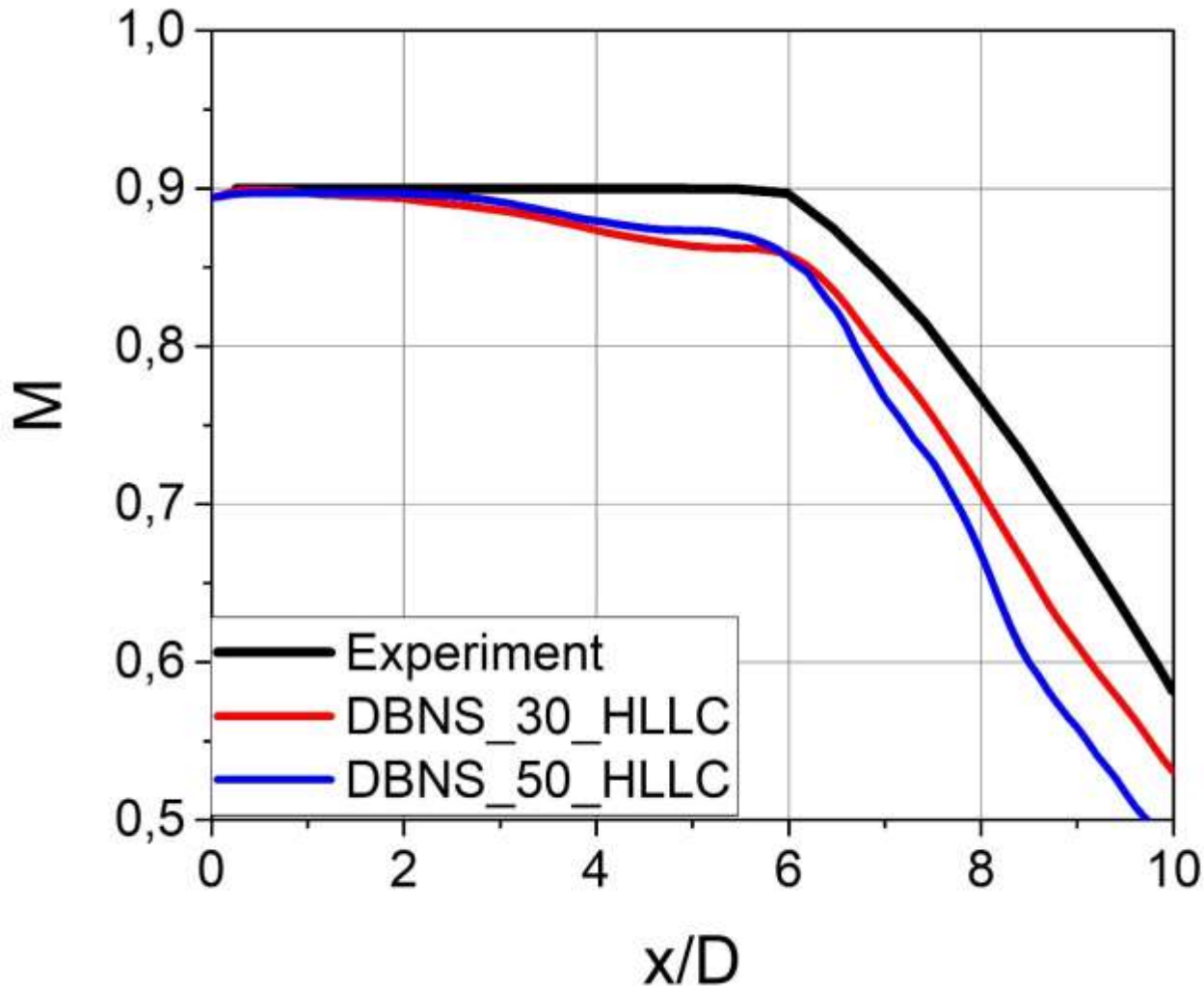
Авторами реализована в открытом пакете OpenFOAM методика расчета акустического давления и спектра шума в ближнем и дальнем поле на основе различных акустических аналогий, в виде динамической библиотеки libAcoustics.

<https://github.com/unifcfdlab/libAcoustics>

Расчет истечения струи ($M = 0.9$, $Re=3600$)

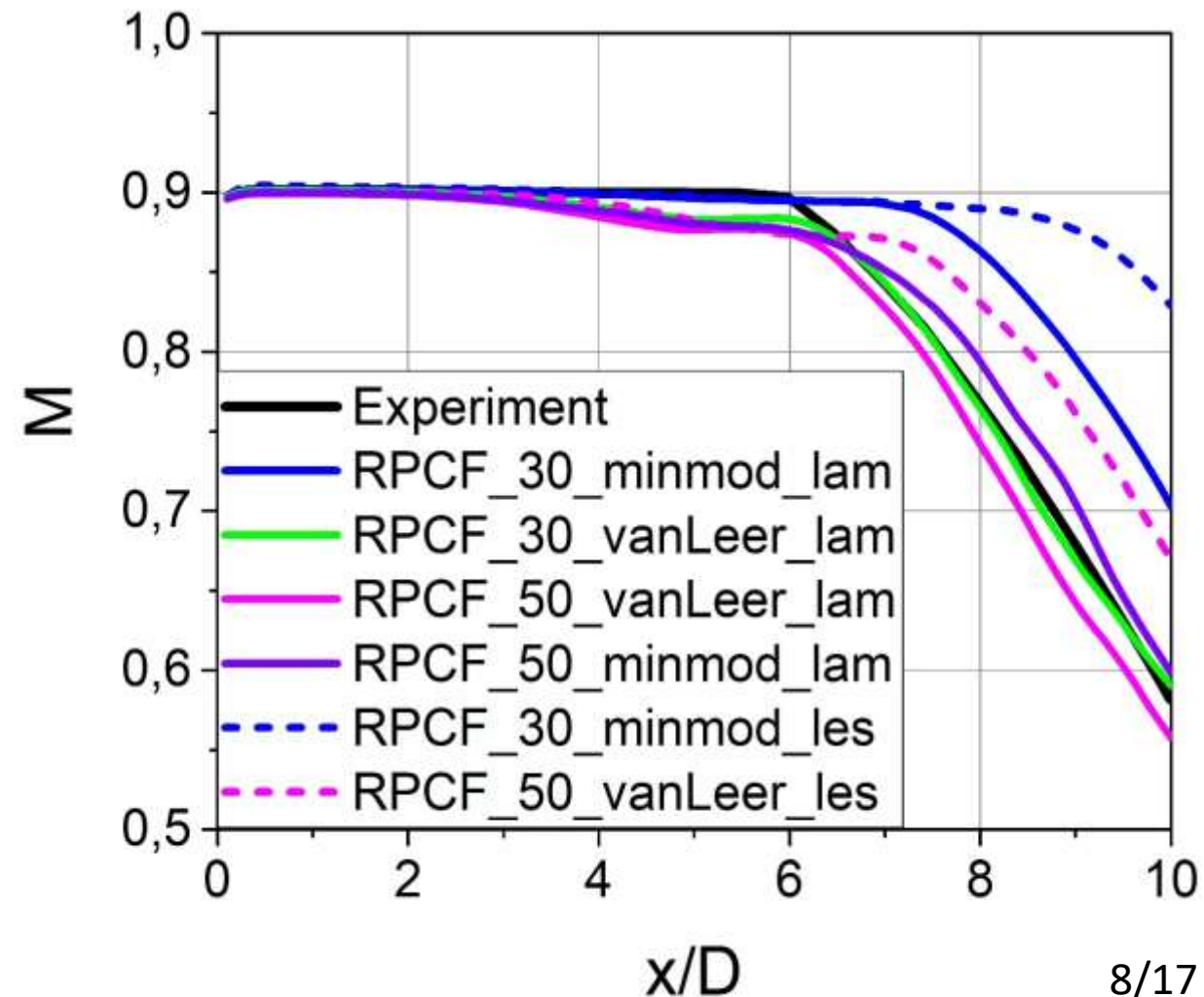
dbnsTurbFOAM

Схема: HLLC



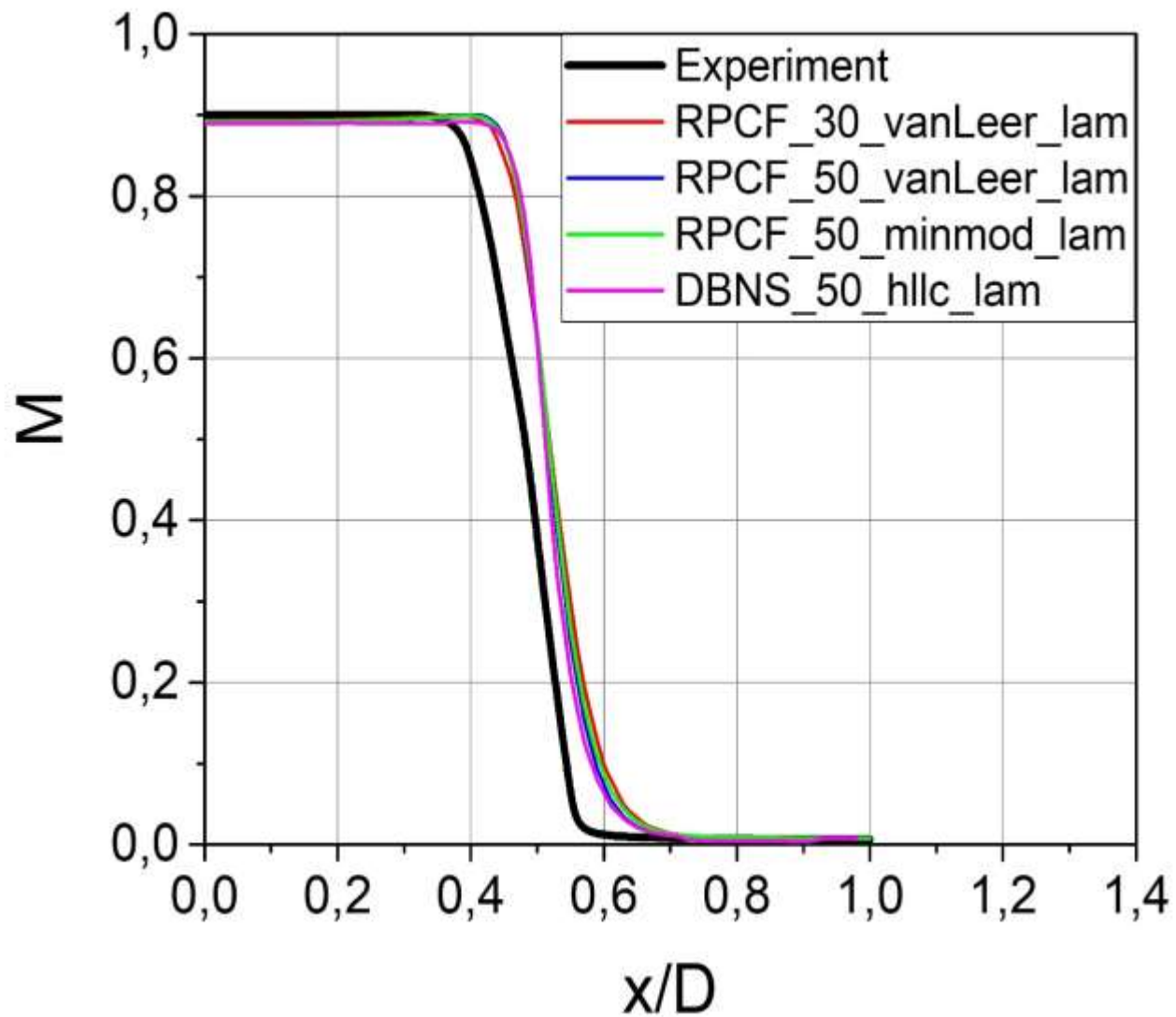
pimpleCentralFOAM

Схема: MinMod, vanLeer

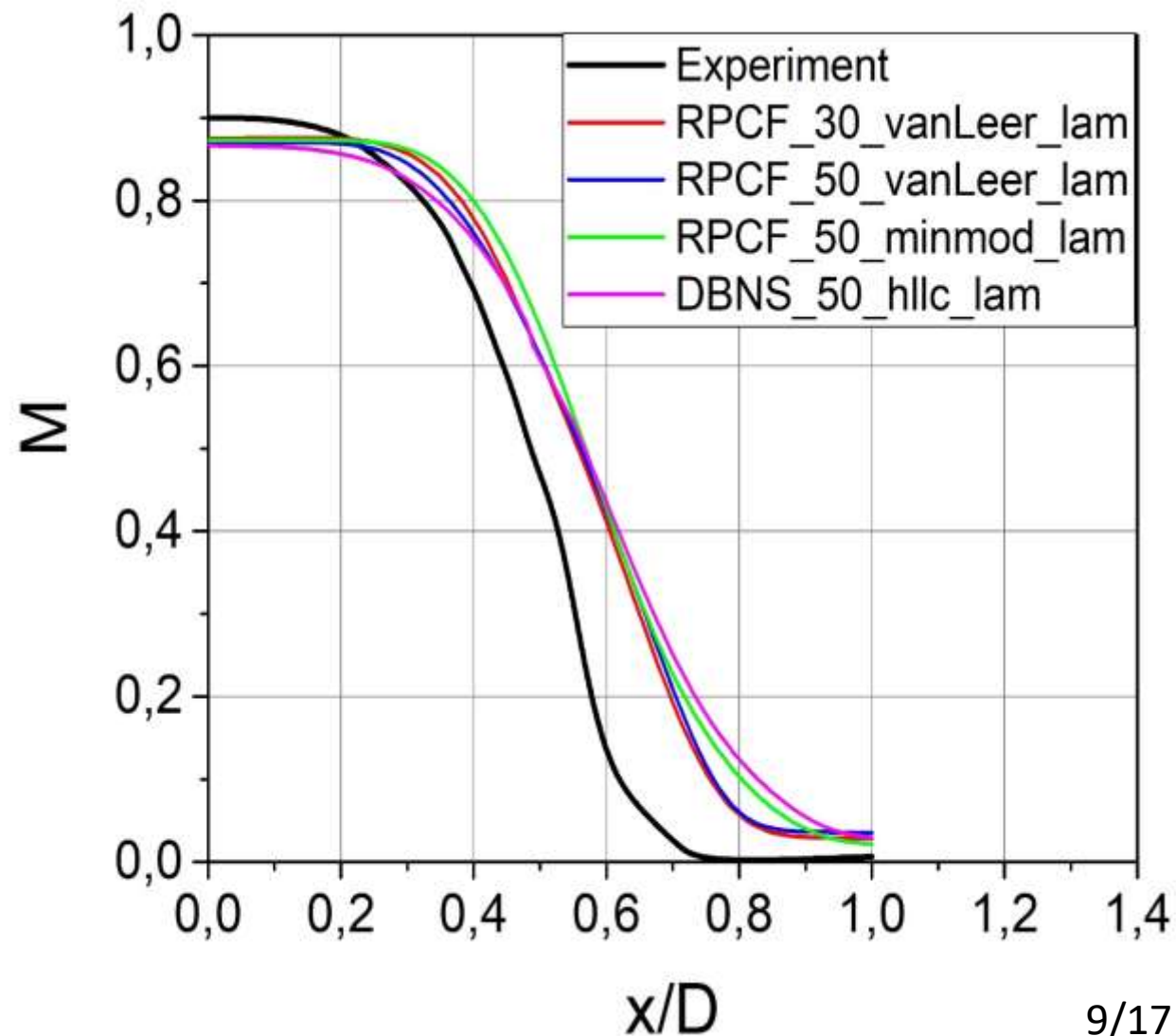


Распределение числа Маха в радиальном направлении

1D



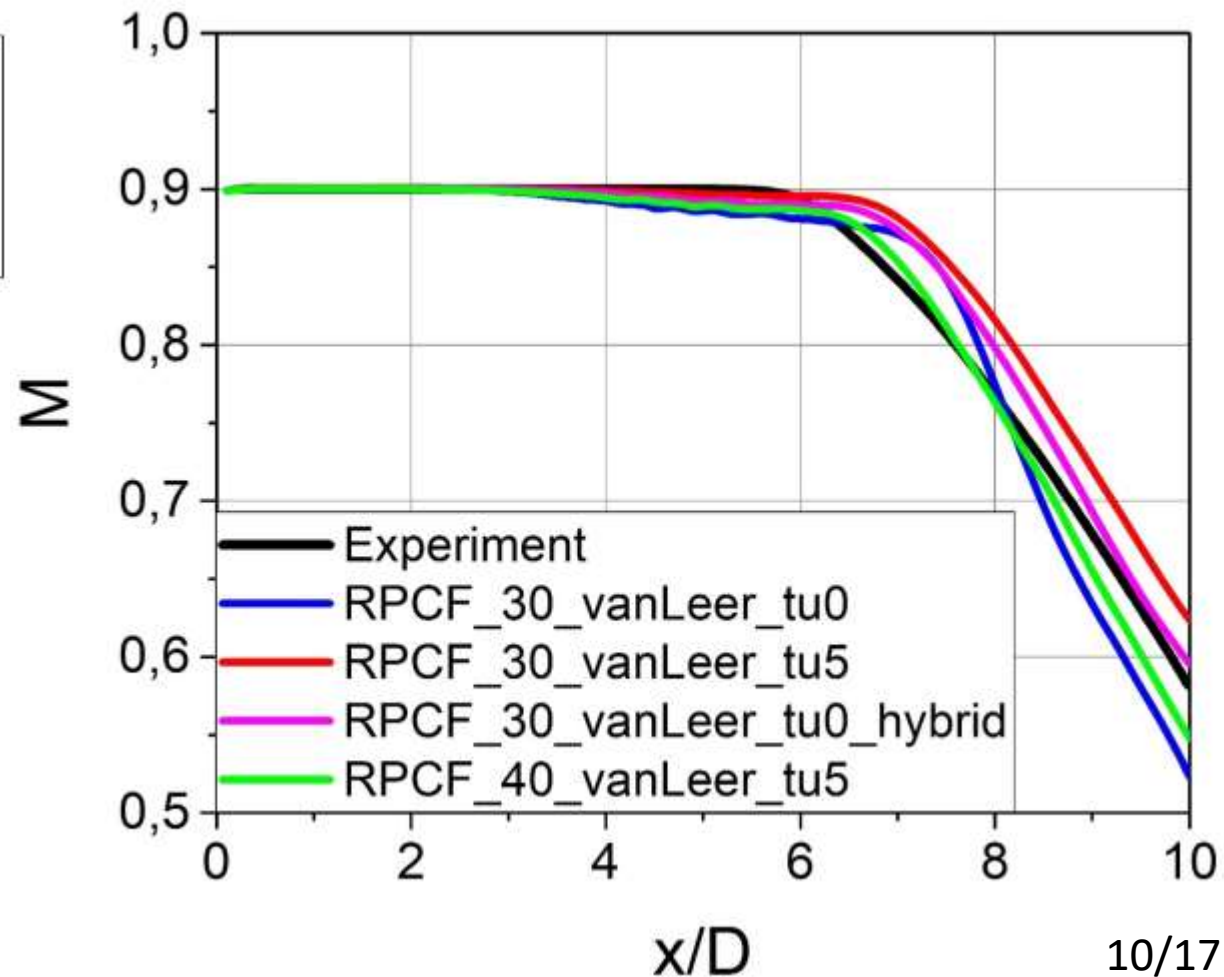
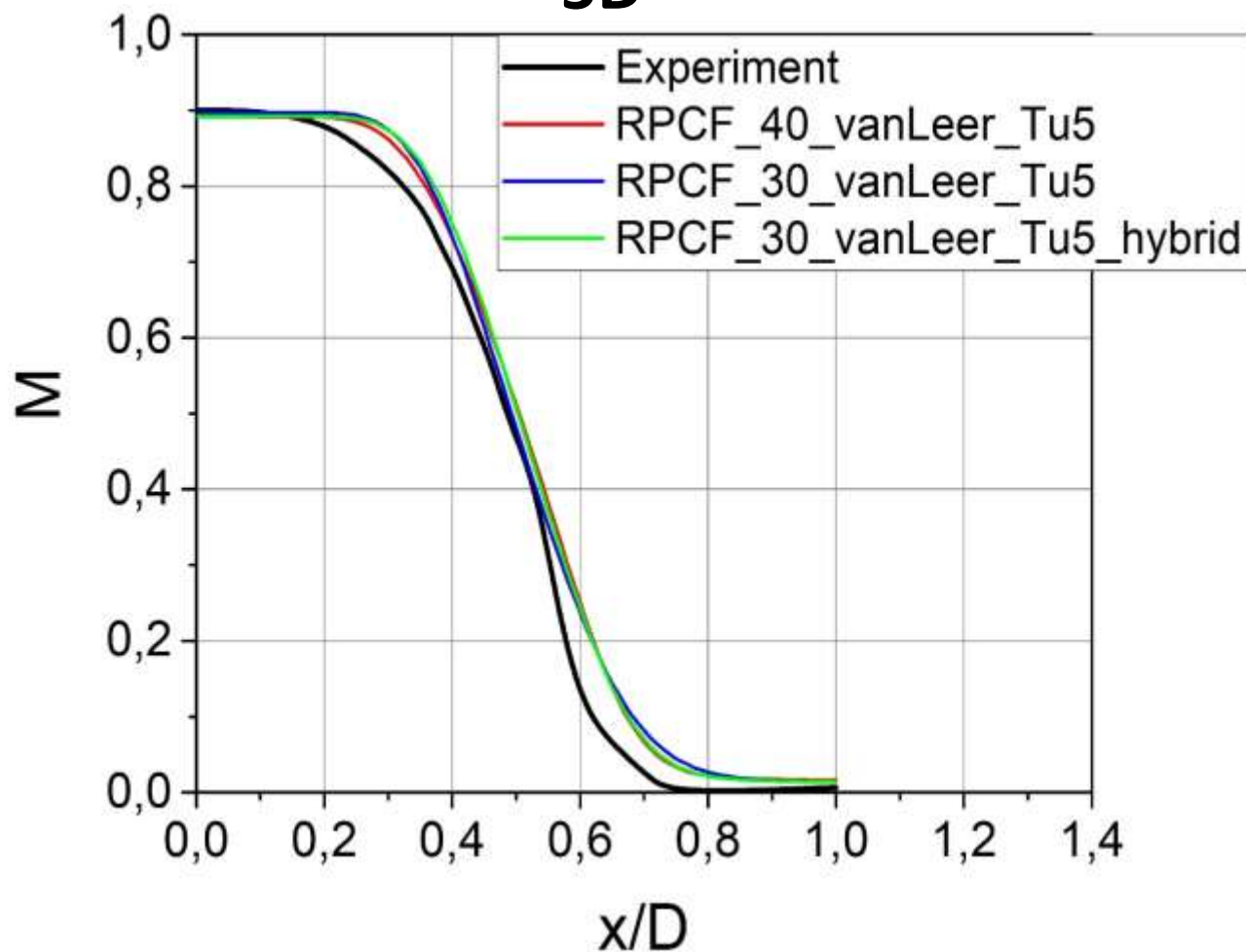
5D



Влияние начального профиля скорости на осредненные характеристики

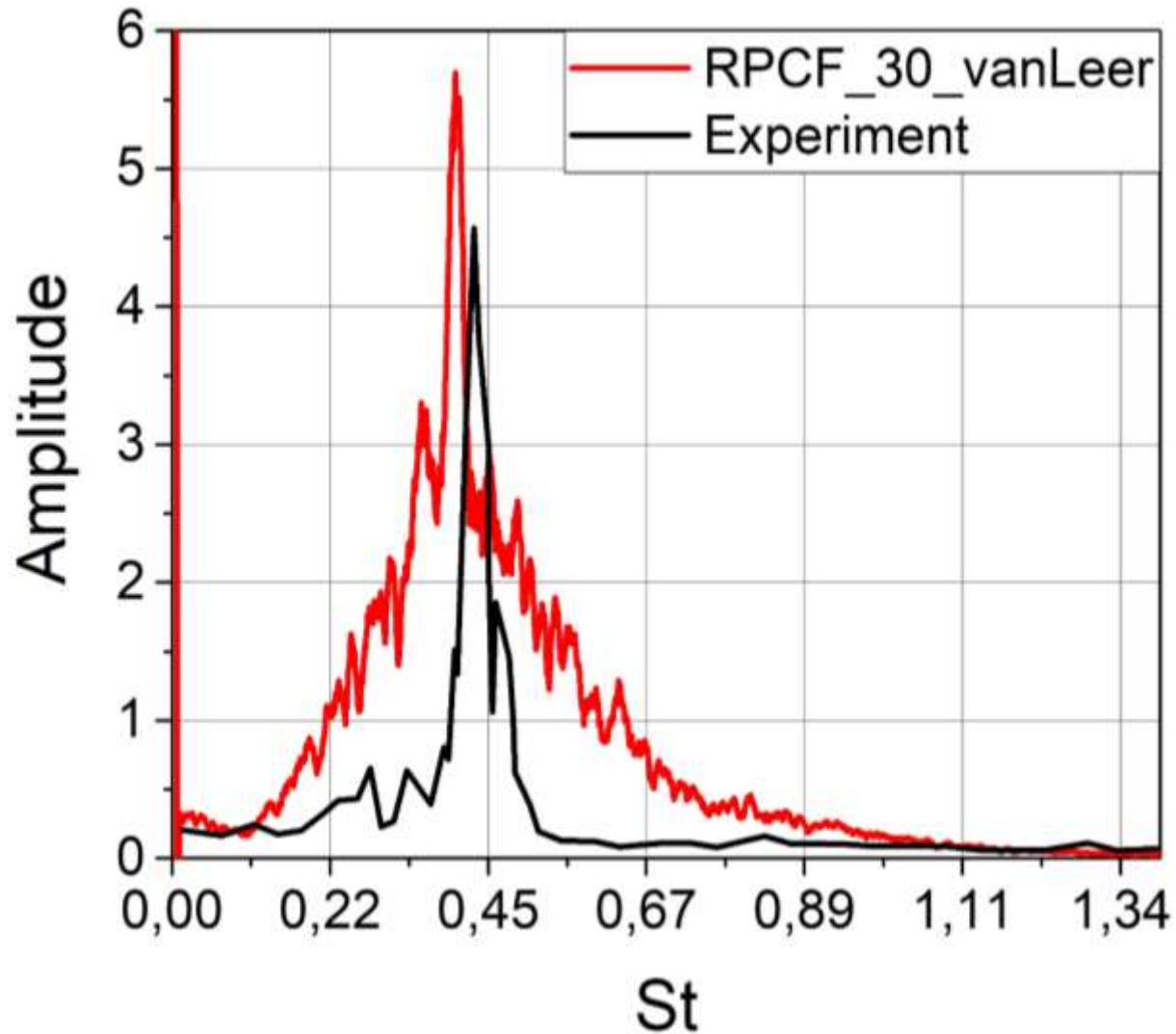
Скорость на срезе: $U(r) = 0.5 \cdot U_j \cdot \left[1 + \tanh\left(8 \cdot \left(1 - \frac{2r}{D}\right)\right) \right]$

5D

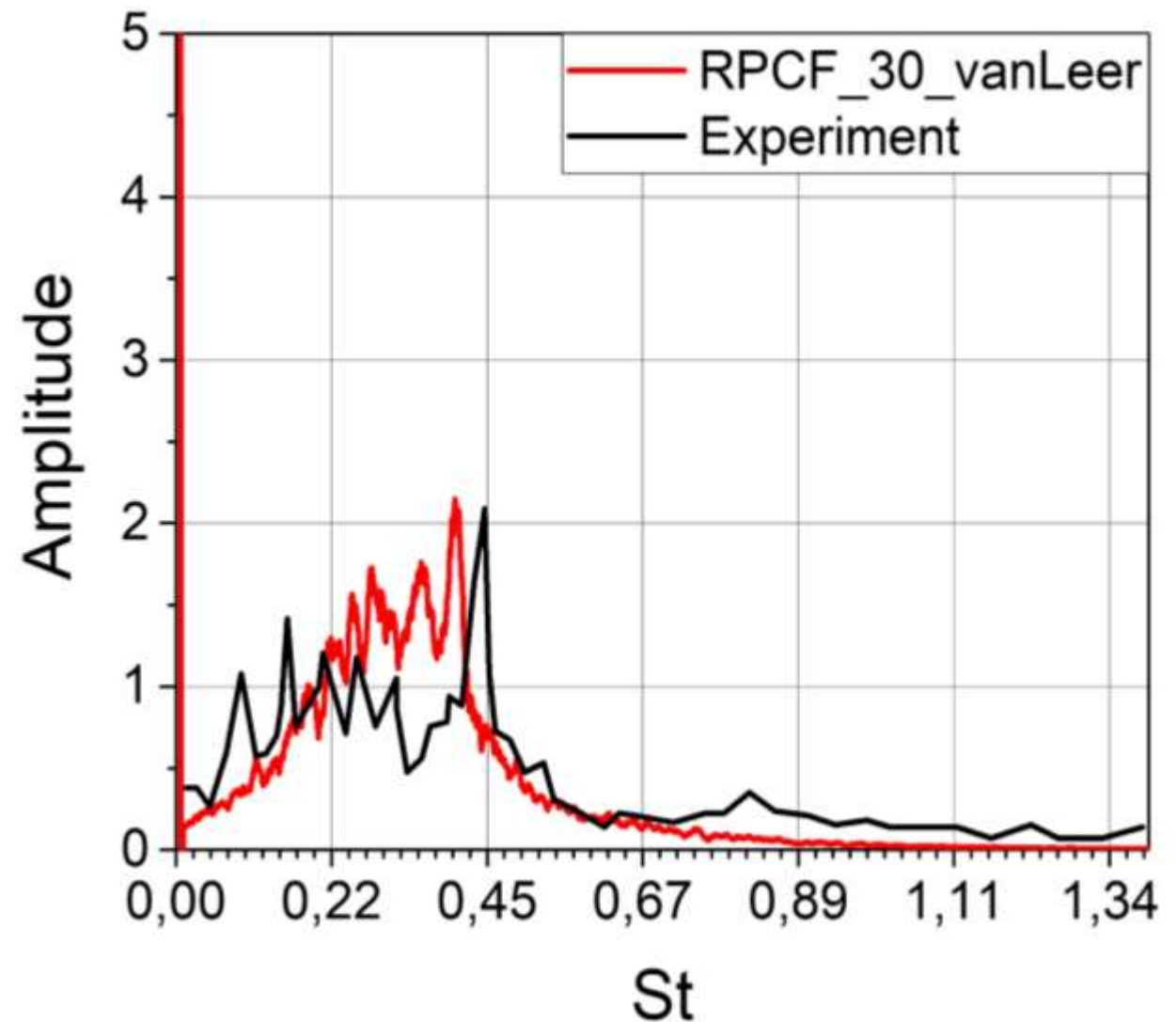


Сравнение пульсационных параметров в точках

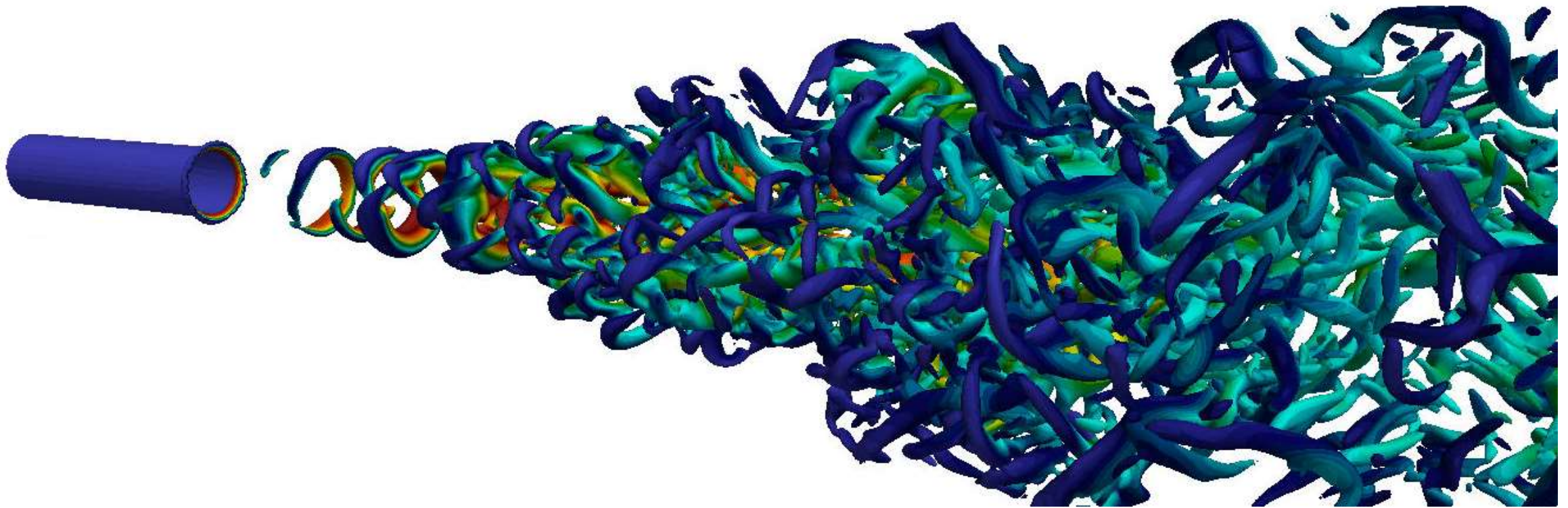
$x/D=5$



$x/D=7$

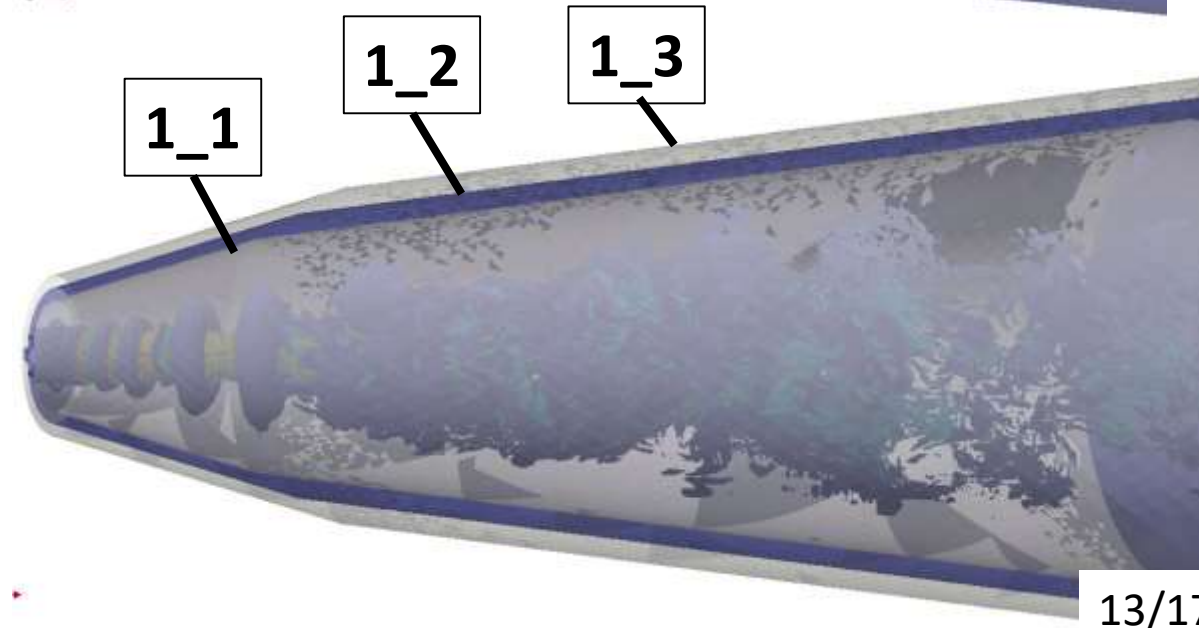
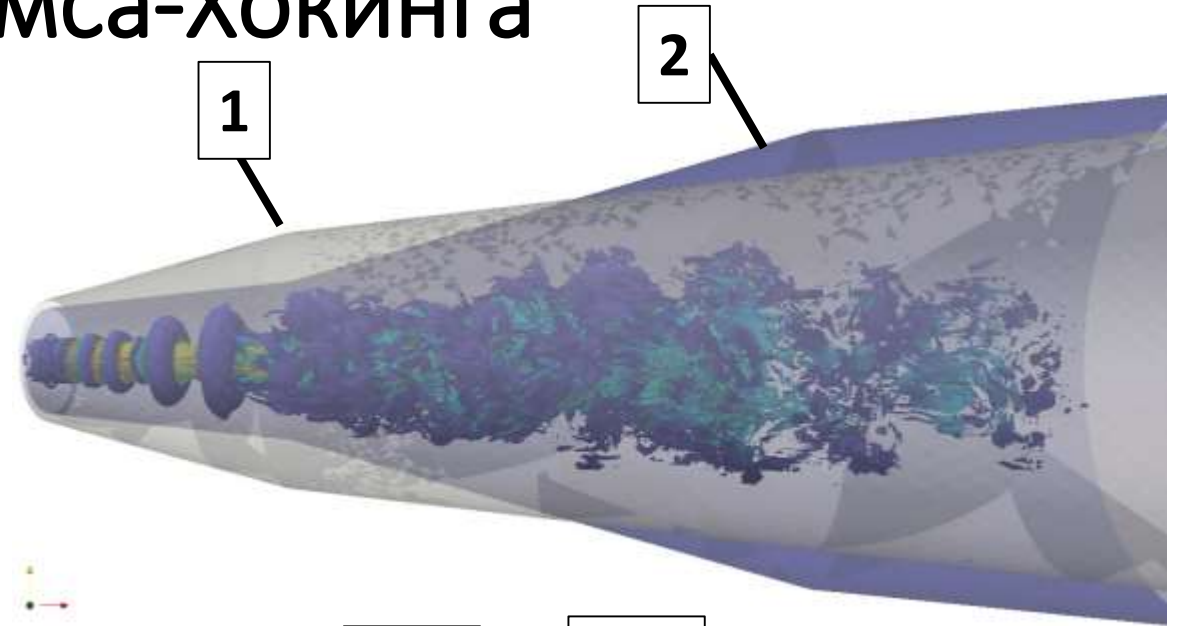
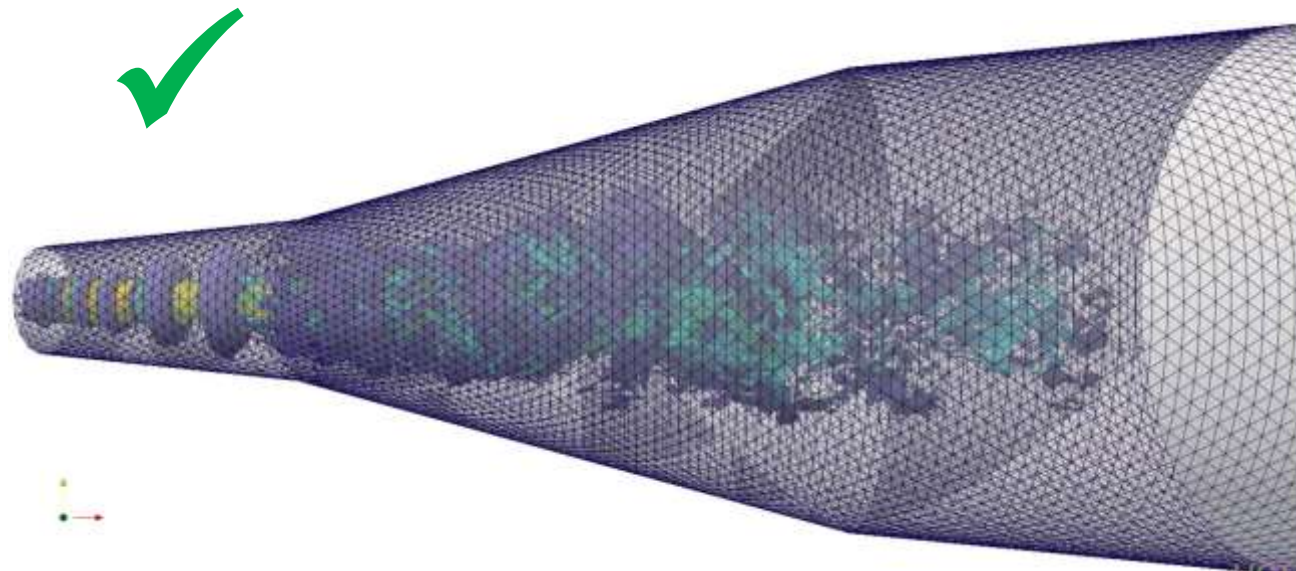
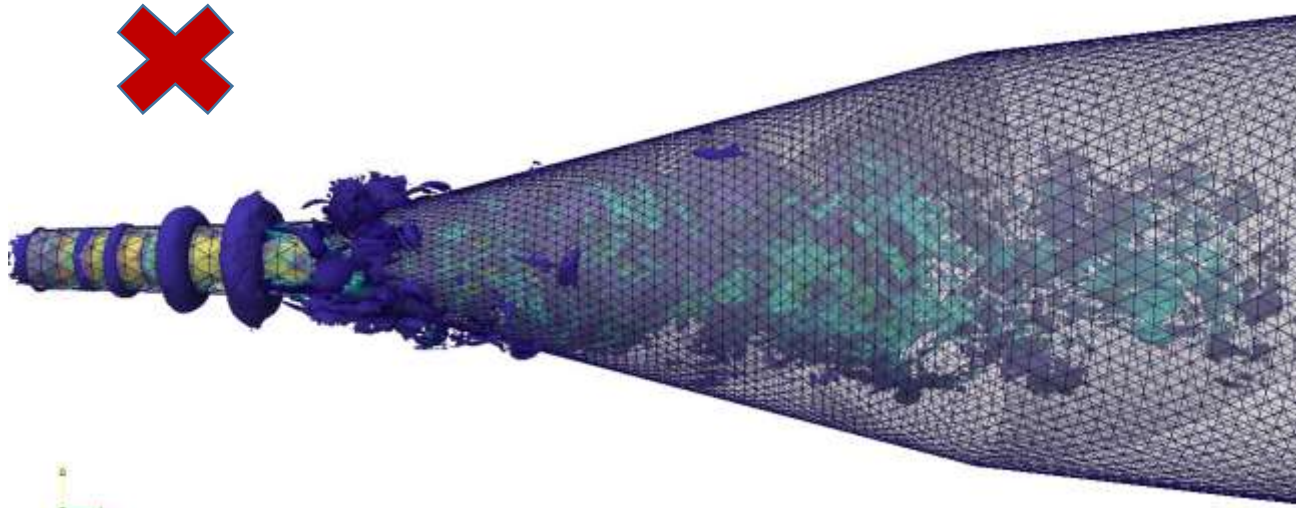


Трехмерная структура истечения струи при $M=0.9$, $Re=3600$

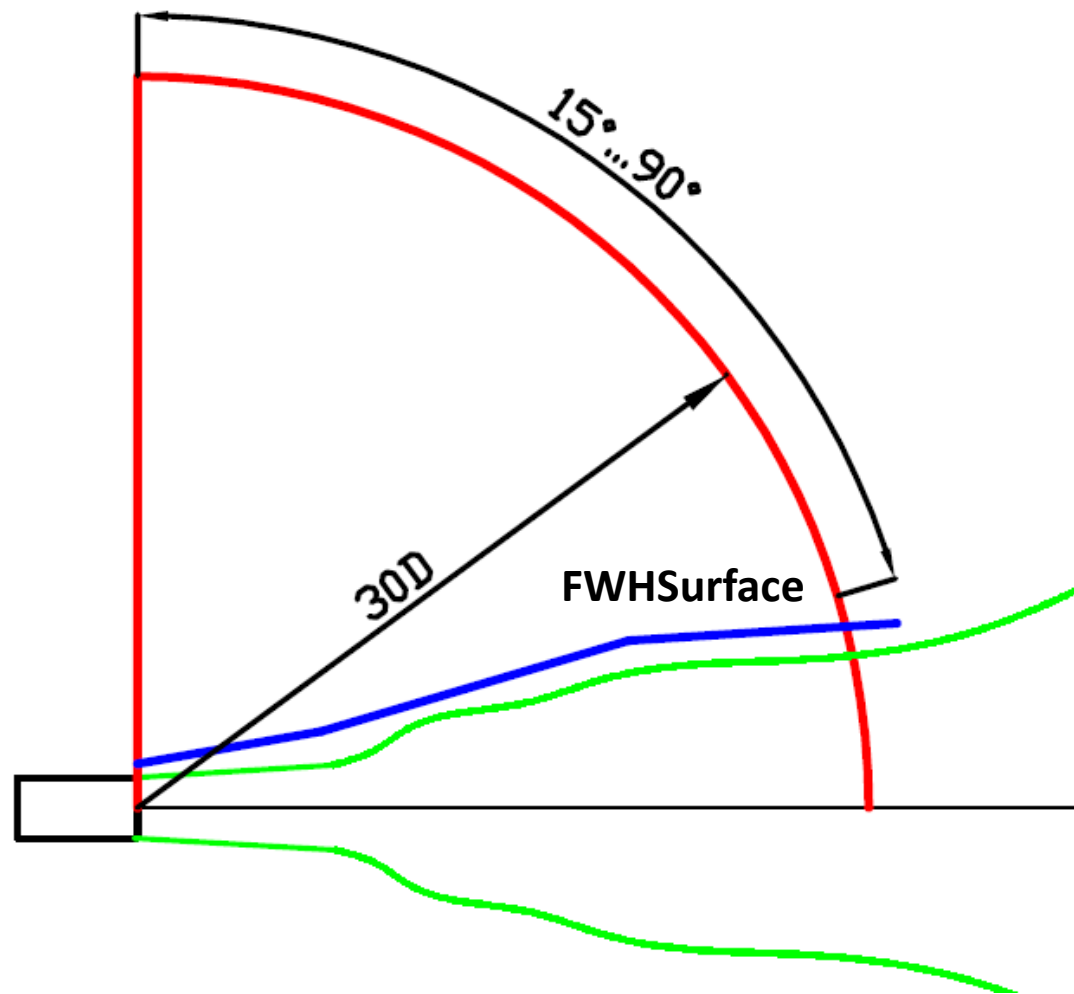


Мгновенная структура (изоповерхности Q – критерия)
истечения струи

Выбор формы и расположения поверхности Фоукса Вильямса-Хокинга

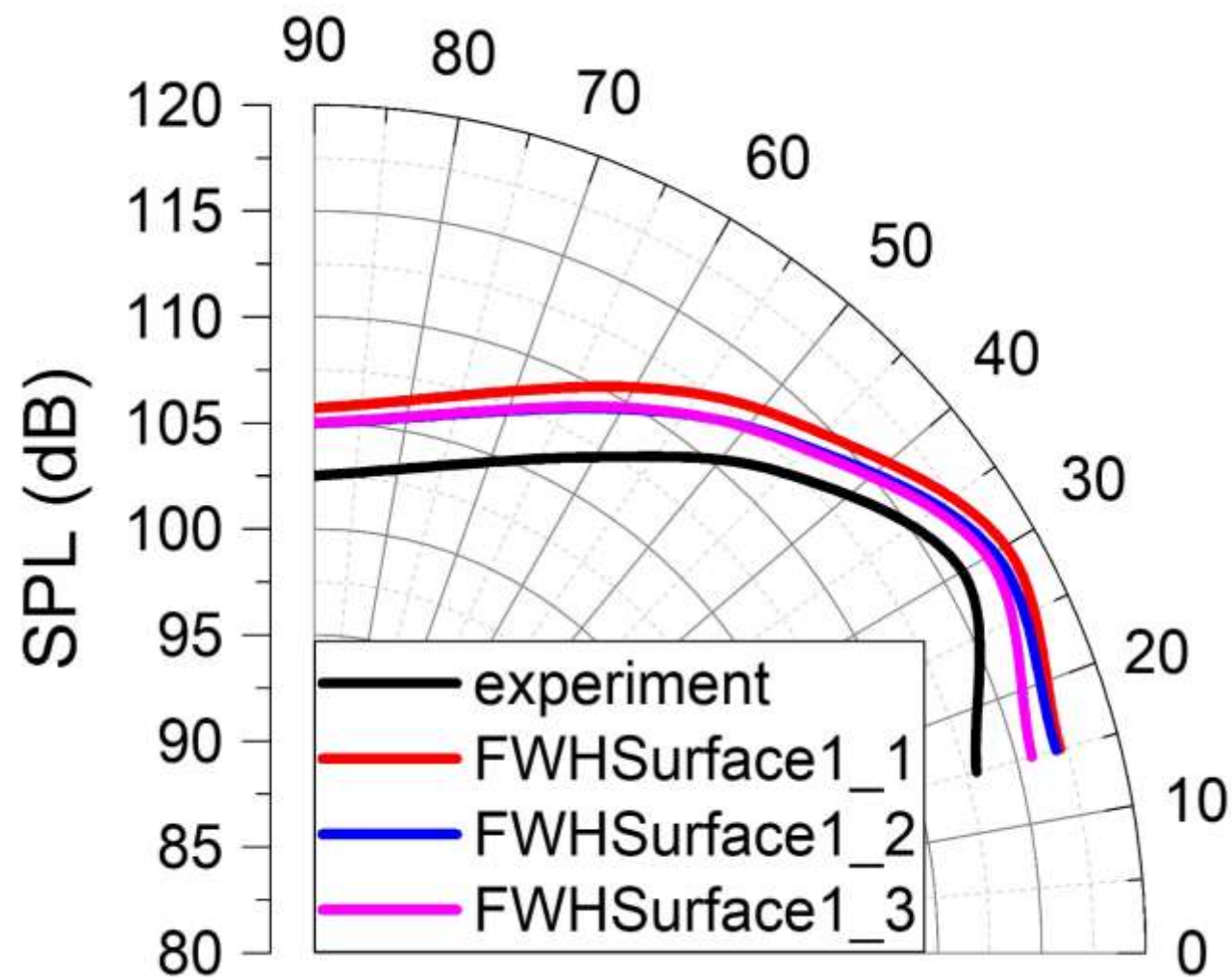


Акустические возмущения



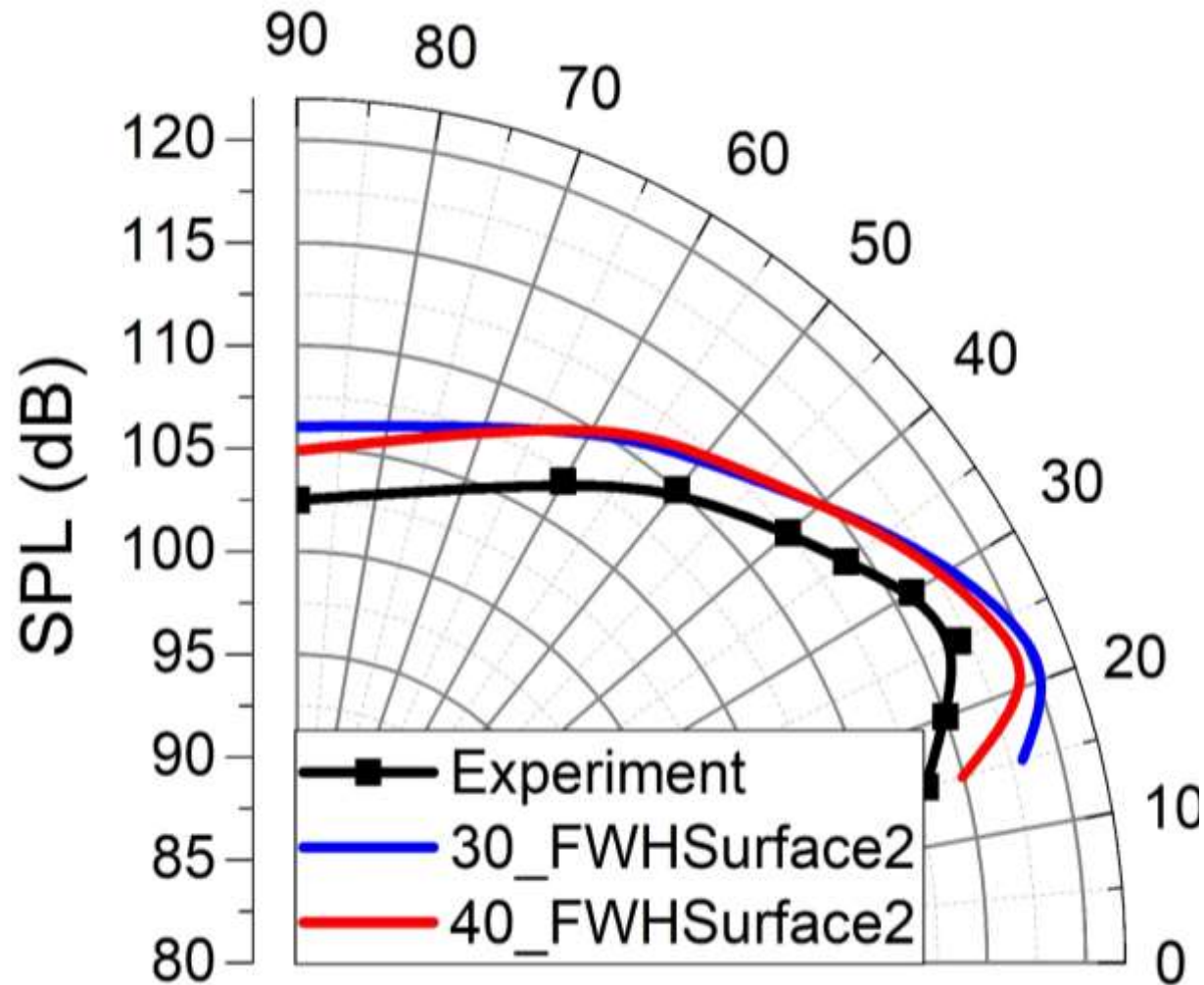
$$SPL = 20 * \log \left[\frac{p'_{rms}}{2 \cdot 10^{-5} \cdot P_c / P_{atm}} \right]$$

Влияние расположения поверхности Фоукса Вильямса-Хокинга

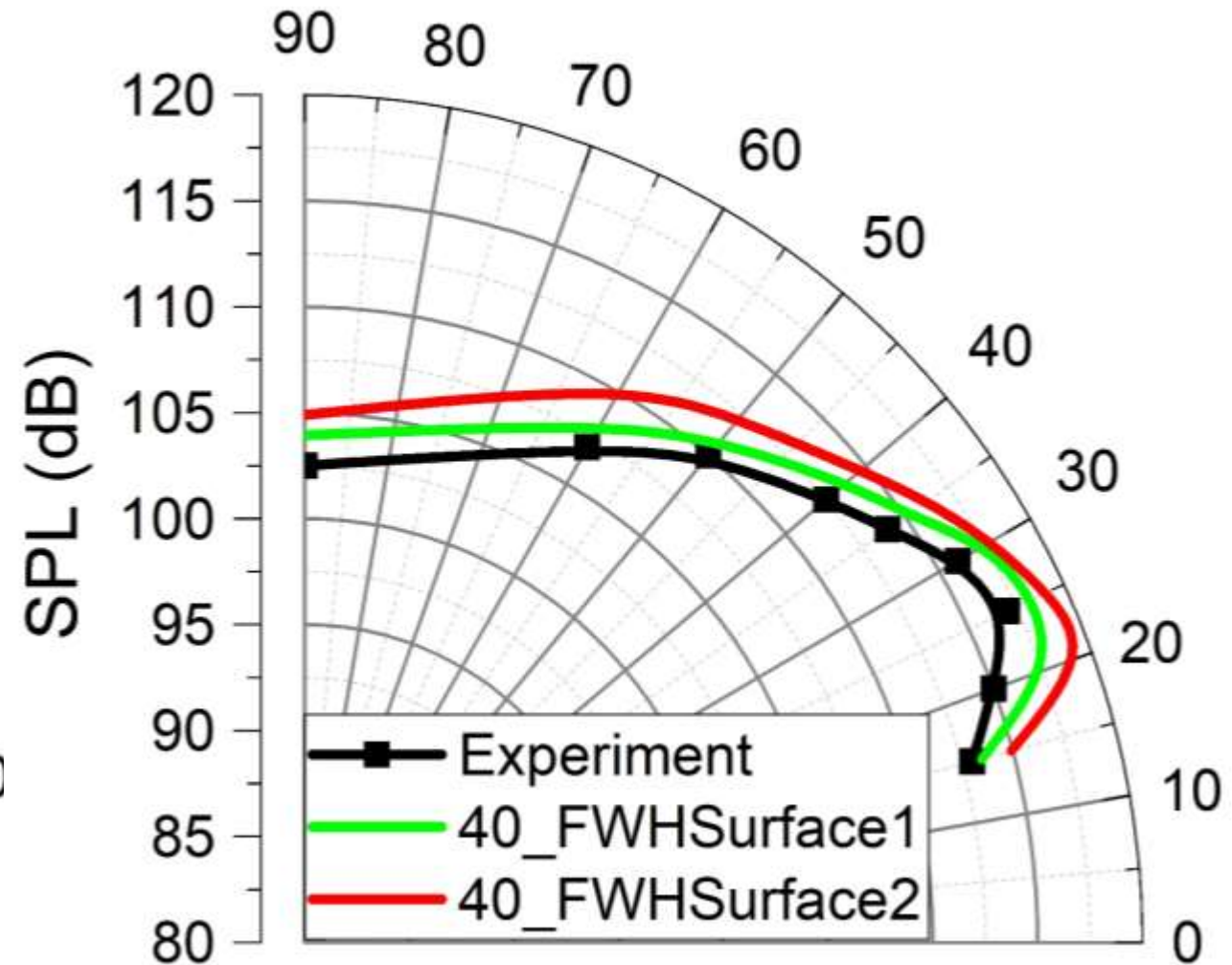


Акустические возмущения

Влияние количества ячеек

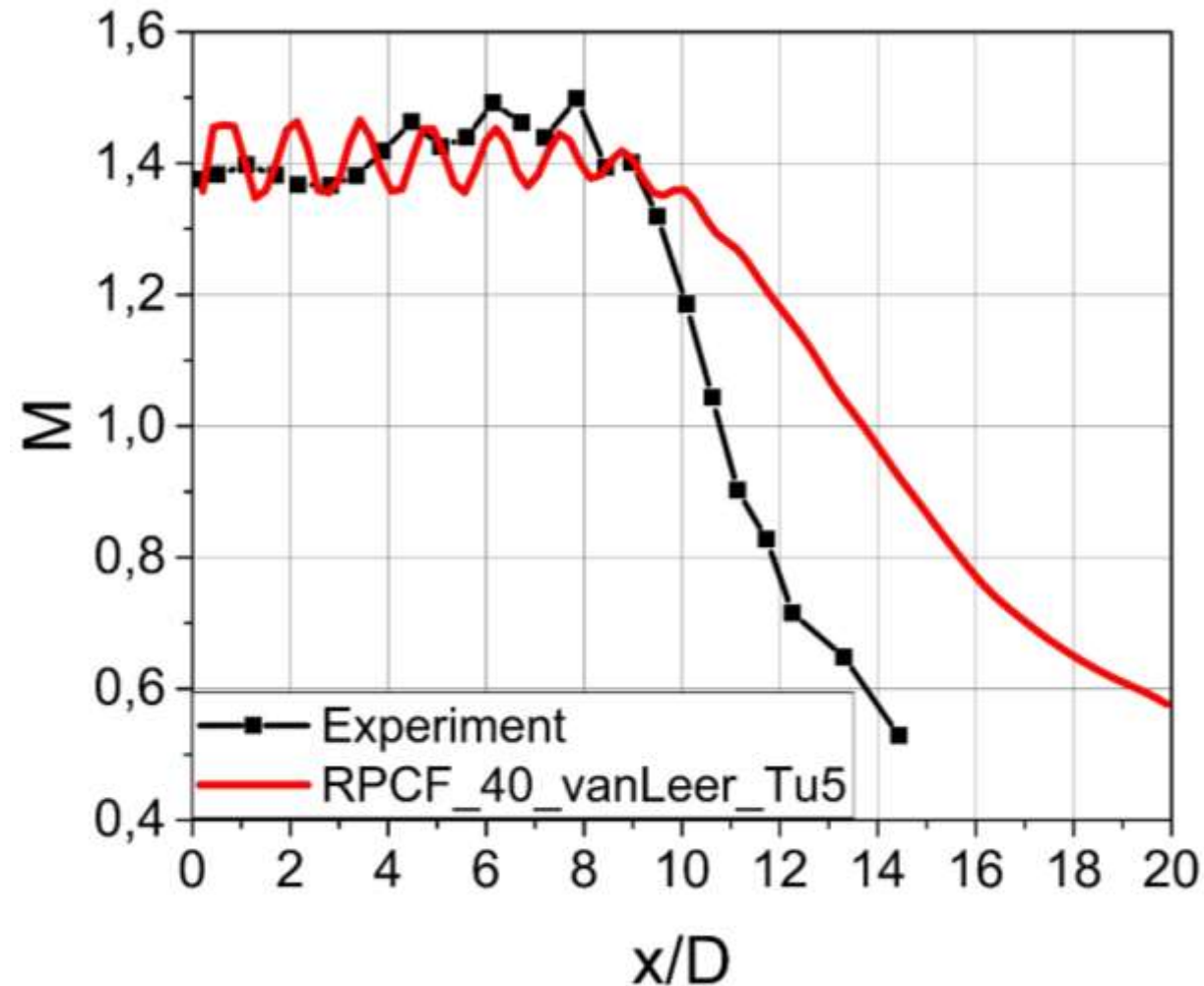


Влияние формы поверхности

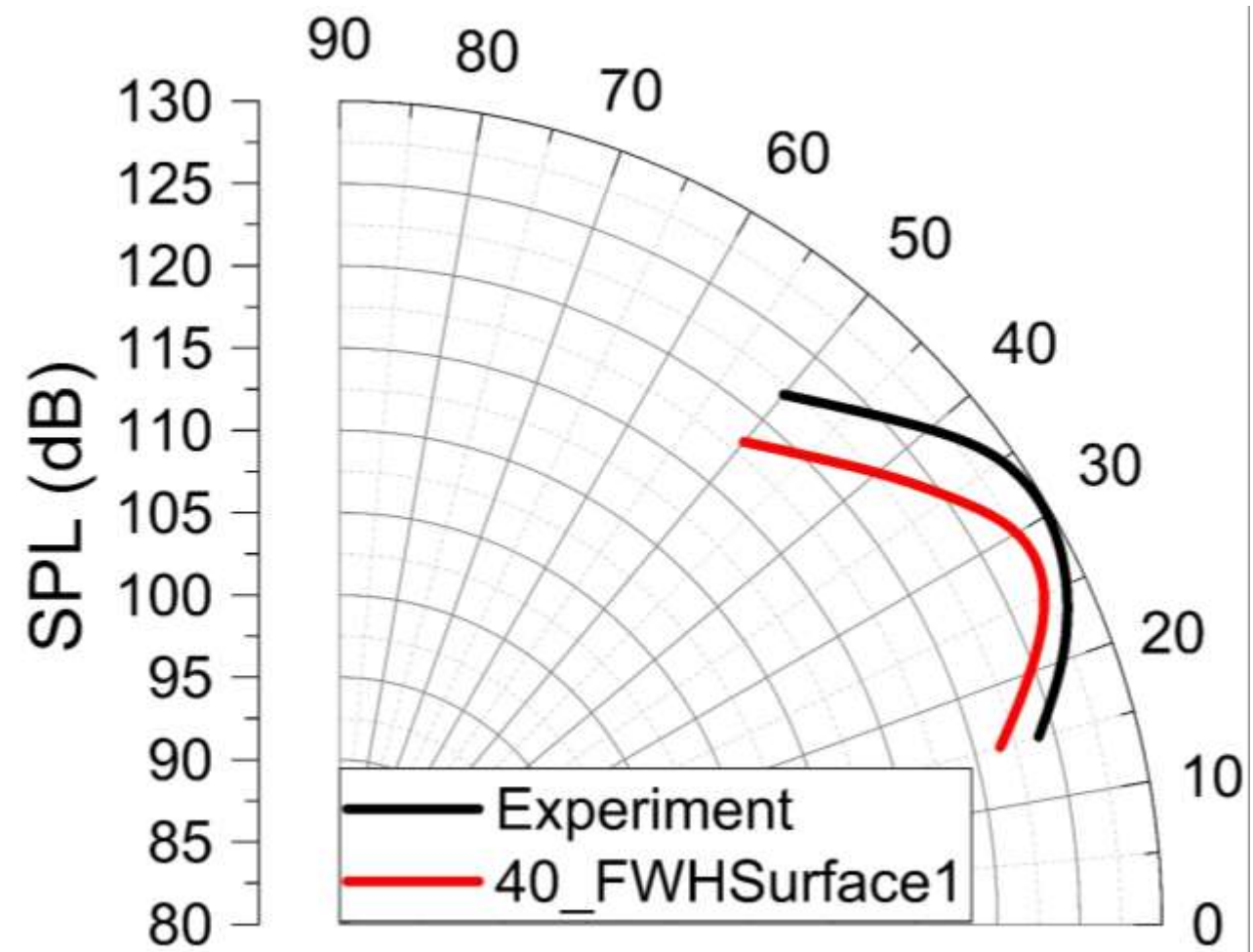


Расчет истечения струи ($M = 1.4$, $Re=3600$)

Распределение числа Маха
по оси струи



Акустические возмущения



Спасибо за внимание