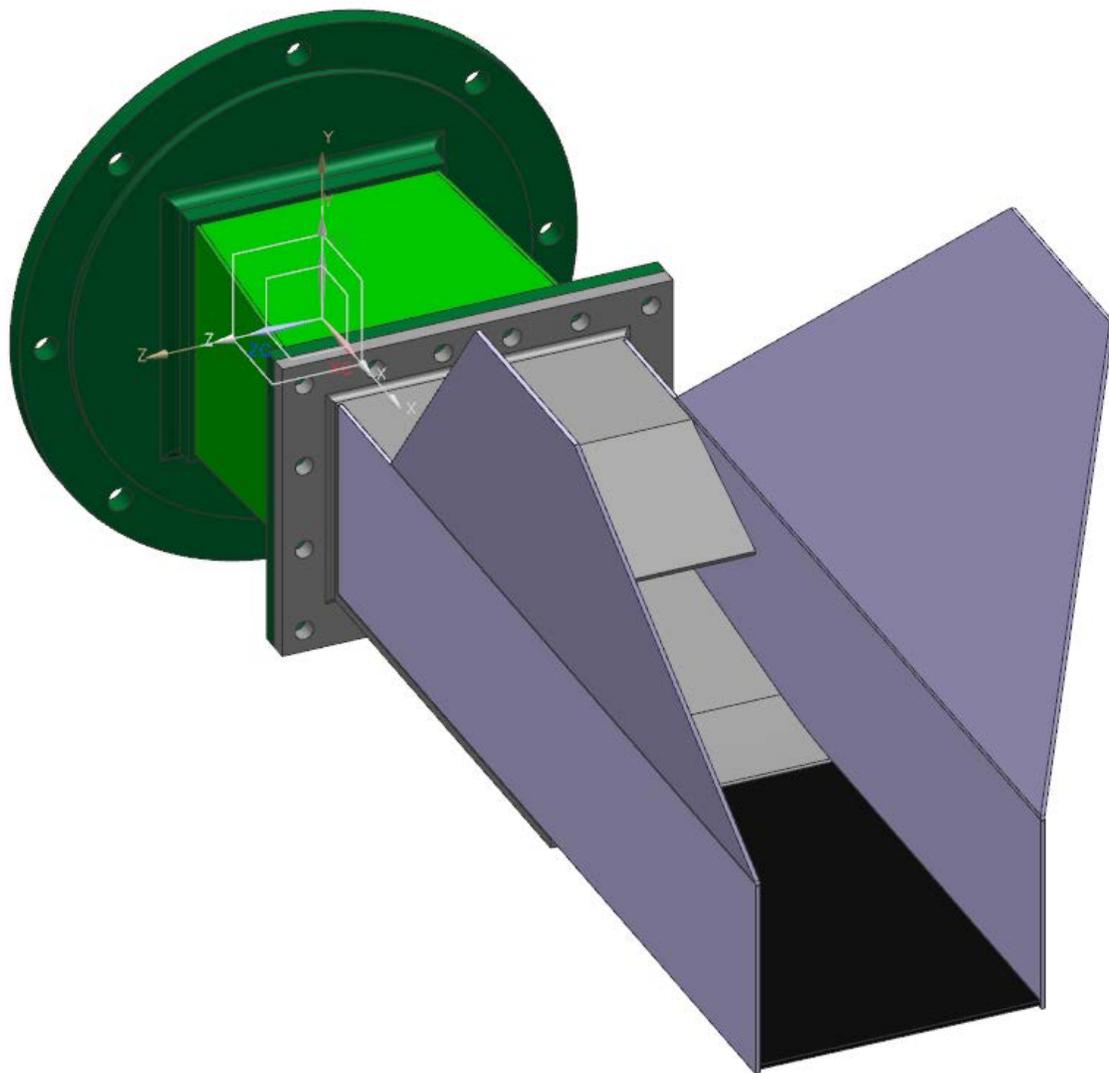


РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ШУМА МОДЕЛИ ВЫХОДНОГО УСТРОЙСТВА ПЕРСПЕКТИВНОГО СВЕРХЗВУКОВОГО ГРАЖДАНСКОГО САМОЛЕТА

С.А. Карабасов¹, В.Е. Макаров², А.К. Миронов², В.А. Шорстов²

¹Queen Mary University of London, London, s.karabasov@qmul.ac.uk и НЦМУ ЦАГИ

²ЦИАМ им. П.И.Баранова, Москва, vmakarov@ciam.ru



Режим	NPR	T*, К	U, м/с (скорость полного расширения)
№ 1	1.68	505	375.8
№ 2	1.80	550	415.7
№ 3	2.20	635	511.2

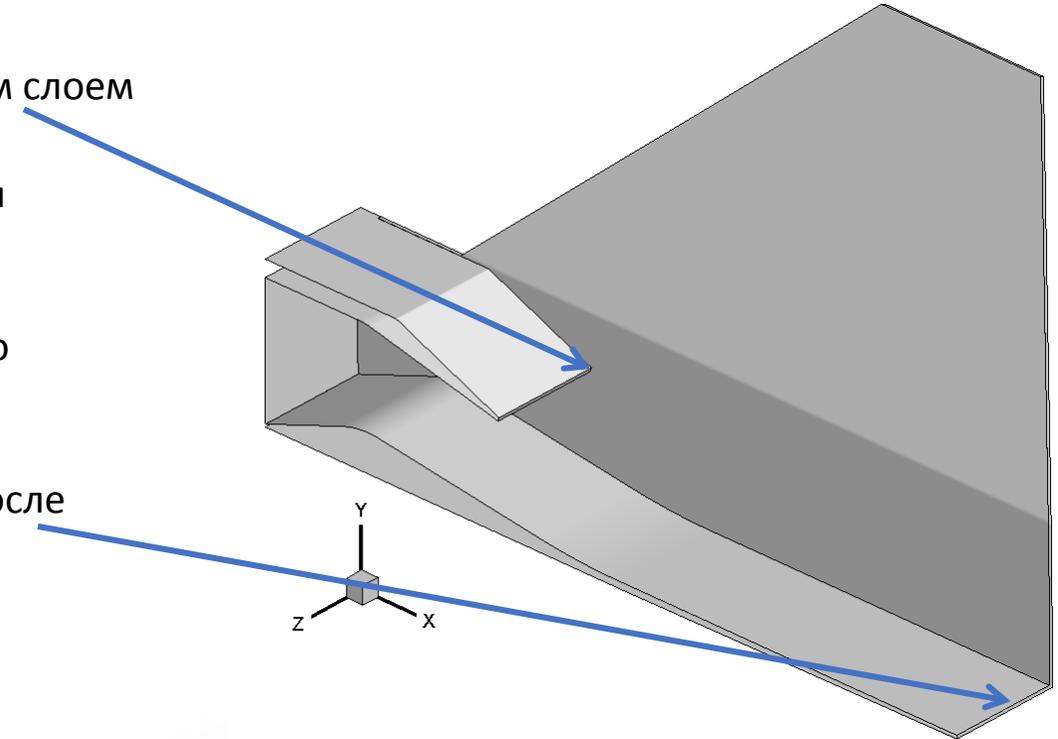
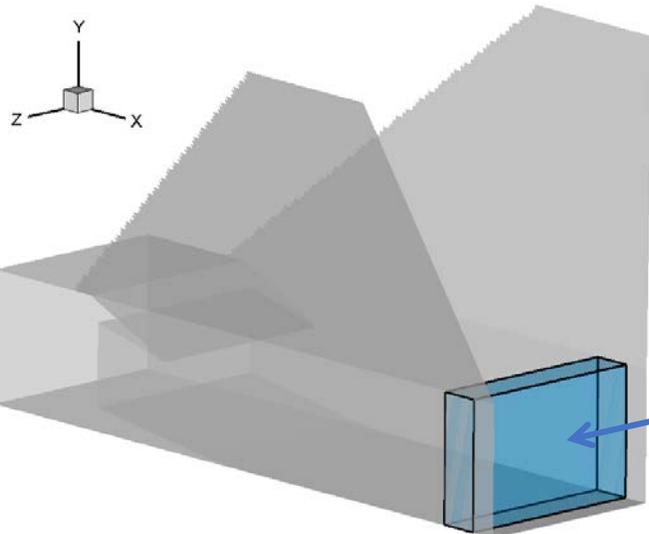
Предположительные особенности течения и постановка как их следствие, зонная модель 1

- После среза верхней губы течение происходит в «канале», ограниченном с трёх сторон стенками а с четвертой нарастающим слоем смешения

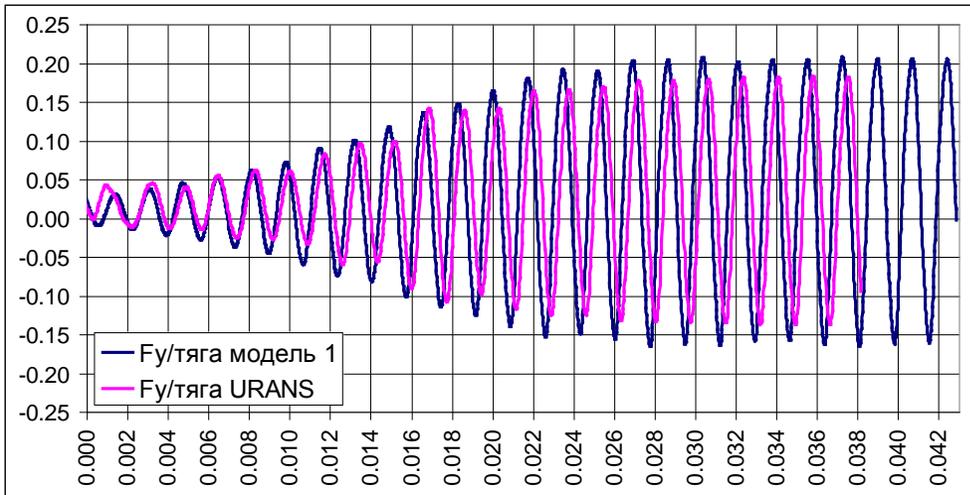
- Численная турбулизация (Δ_{SLA} , ILES) возможна для слоя смешения но вихреразрешение в тонких ПС на этом X неприемлемо затратное

- К окончанию «канала», второму срезу имеются ПС многократно превосходящие типичные для сопел, после этого среза будет развиваться течение в струе

- Из за нетипично толстого пограничного слоя течение после второго среза должно сильно от него зависеть



Зонный подход с началом зоны LES около второго среза и VSTG генератором



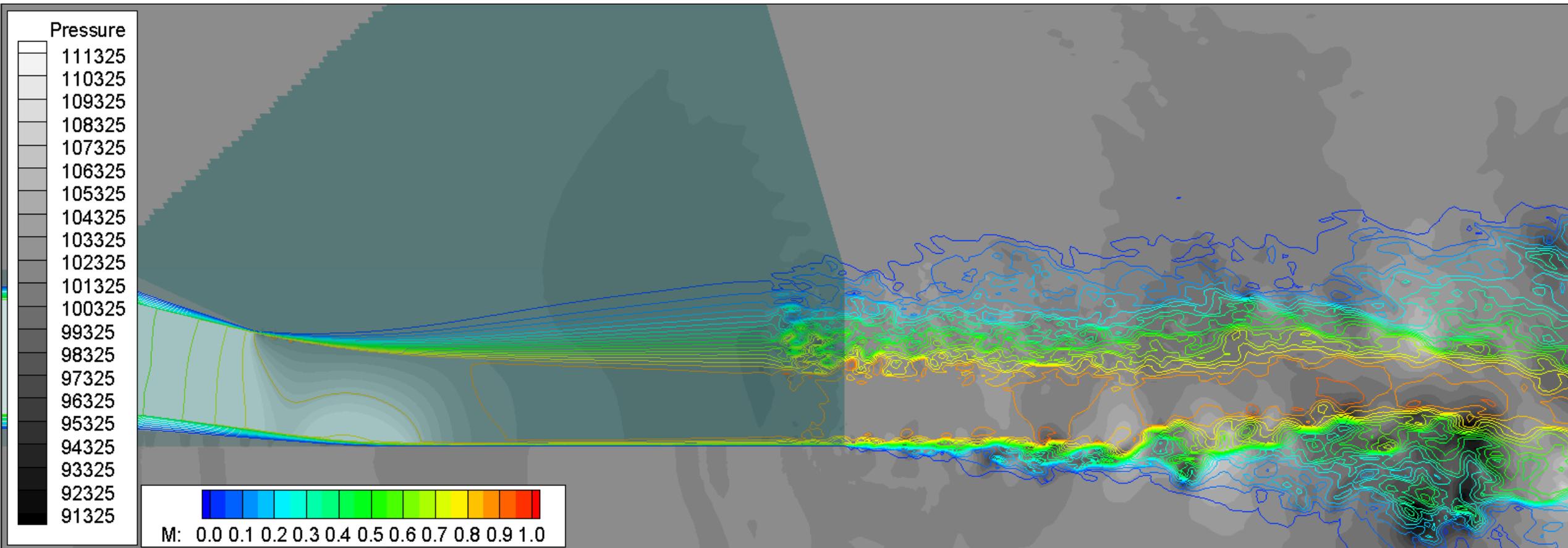
• Развитие процесса оказалось катастрофическим

• URANS расчетом было подтверждено что колебания определяются течением в “канале”, зоне URANS

• URANS нельзя считать достоверным в этом случае

• При построении модели предполагалось что течение там почти стационарное

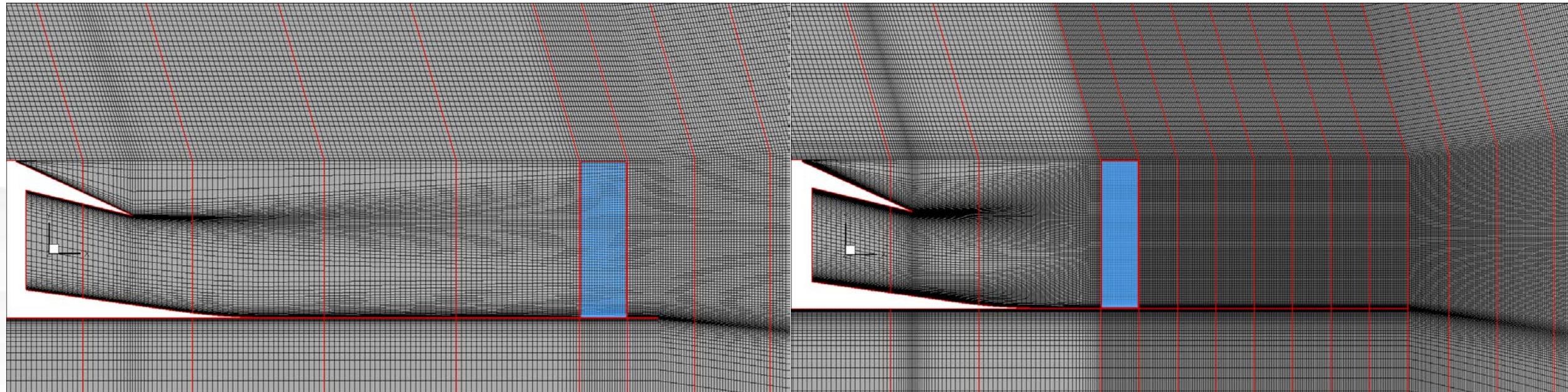
• Модель не удовлетворительная, нужна другая



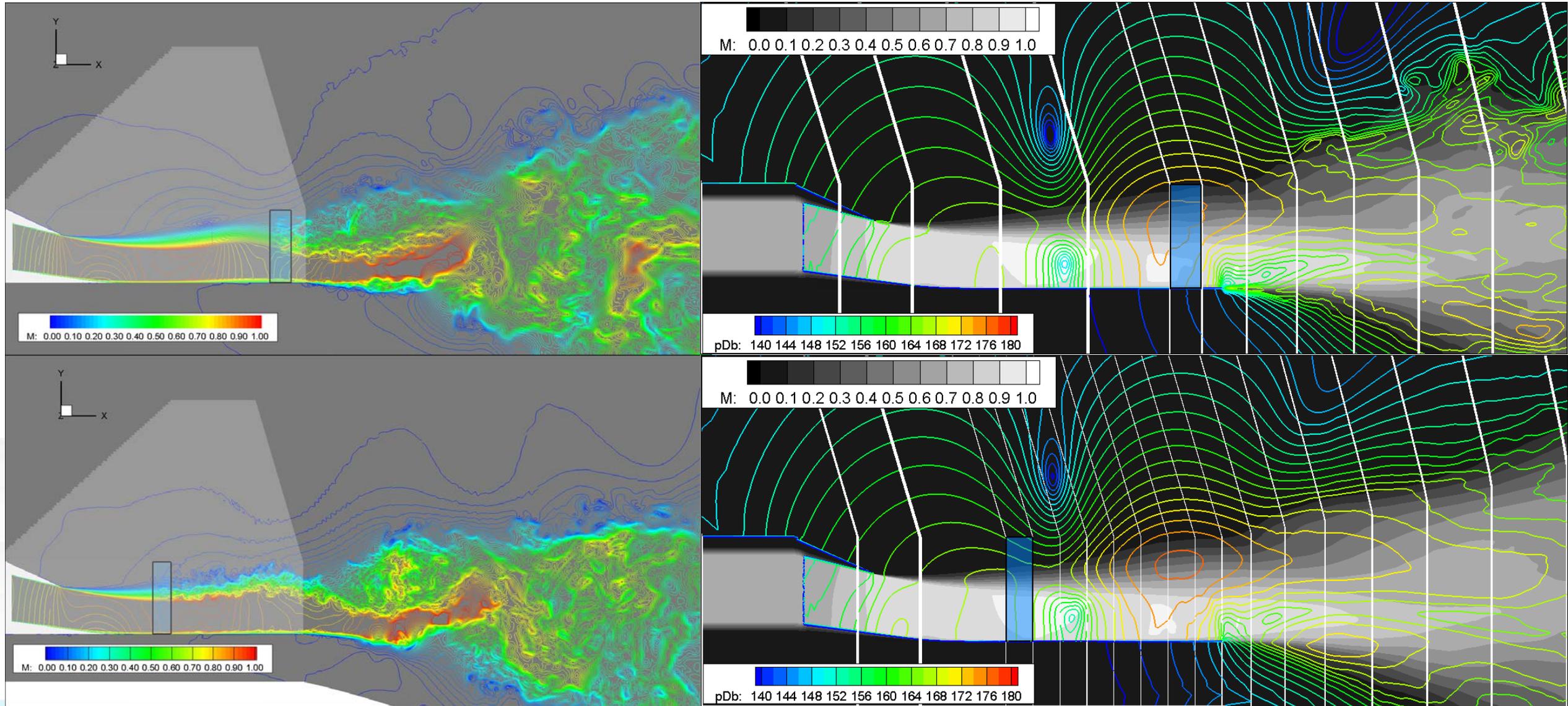
- Предпочтительна постановка с LES от среза
- Из соображений резкого роста вычислительных затрат и того что максимальные колебания были в конце канала решили не менять структуру но установить границу на $2/5$ длины канала от среза
- Для работы с более мелкими структурами ПС и слоя смещения основной шаг был уменьшен в 2 раза до 0.7mm
- Для пограничного слоя на границе $\Delta X = \Delta Z = \delta/6$, в работе* этого было достаточно для WMLES в пограничном слое
- Сетка выросла до 60M

Сетка и зона VSTG модель 1 (20M)

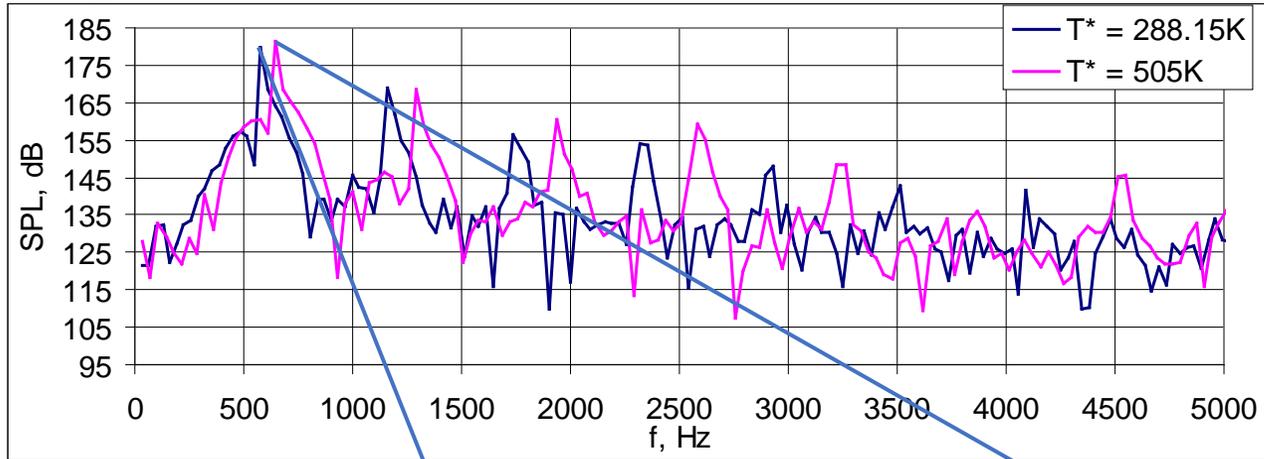
Сетка и зона VSTG модель 2 (60M)



Сопоставление результатов моделей 1 и 2 в пульсациях давления доминирует тон 580Hz



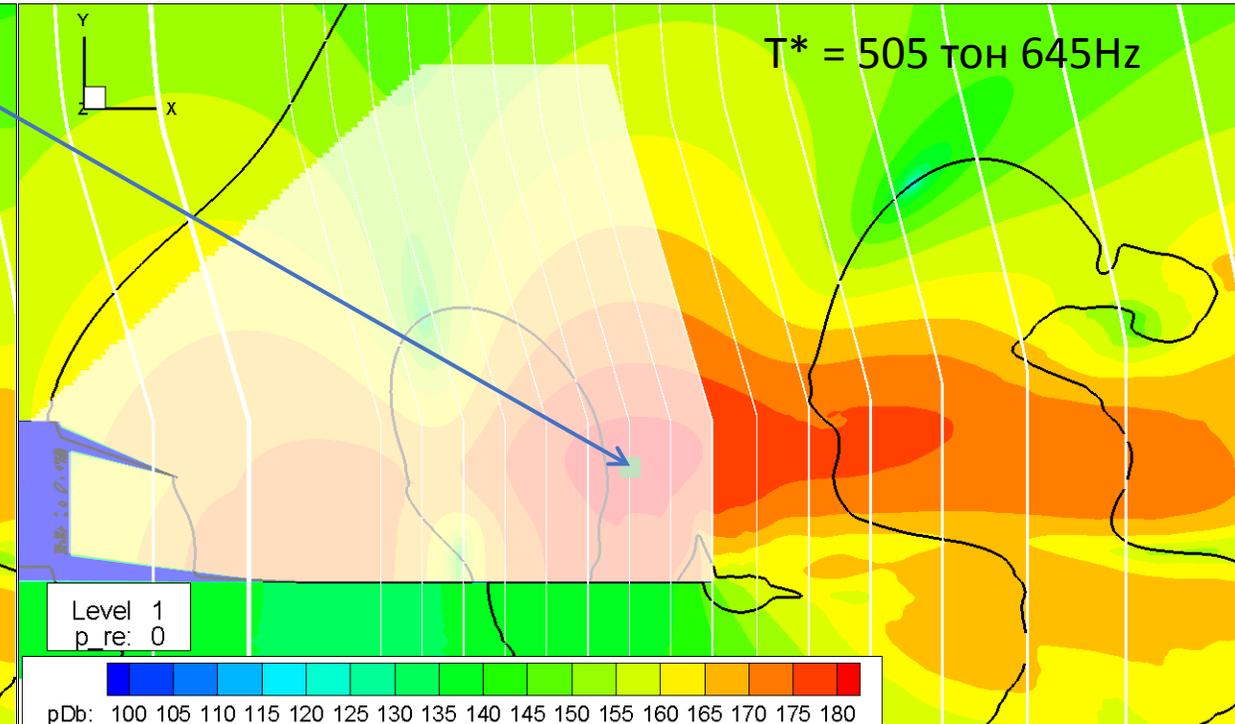
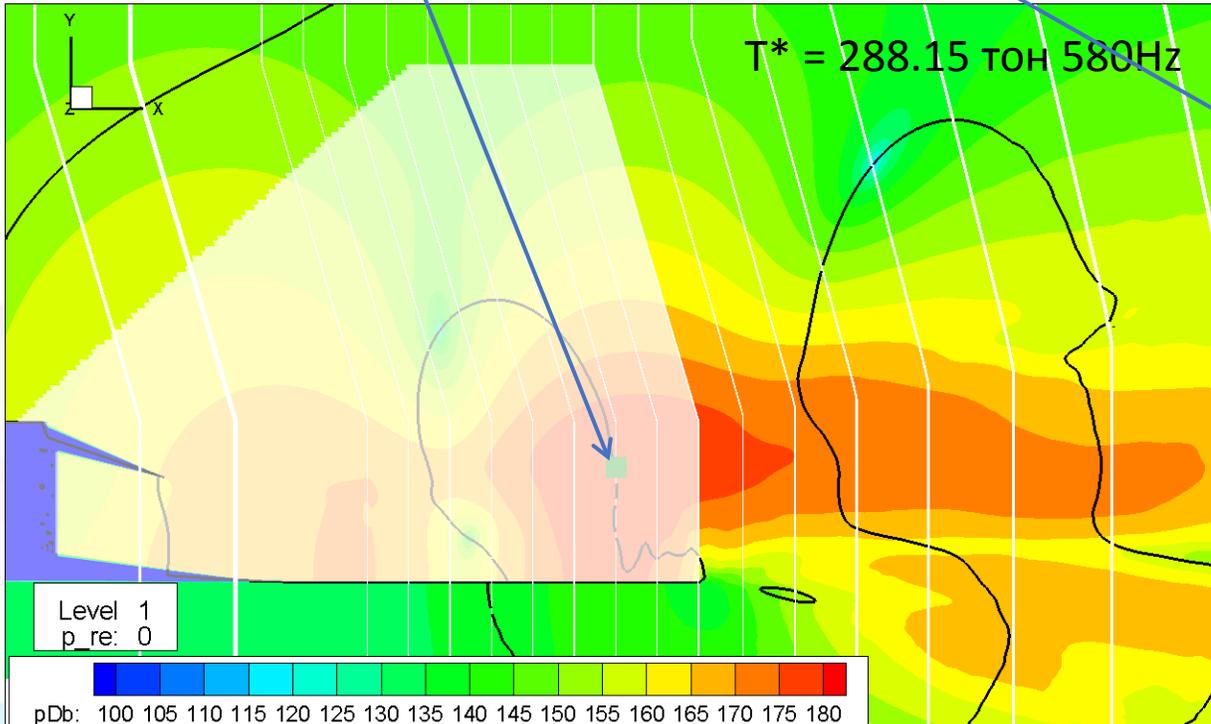
Сопоставление результатов модели 2 для холодной и горячей струй



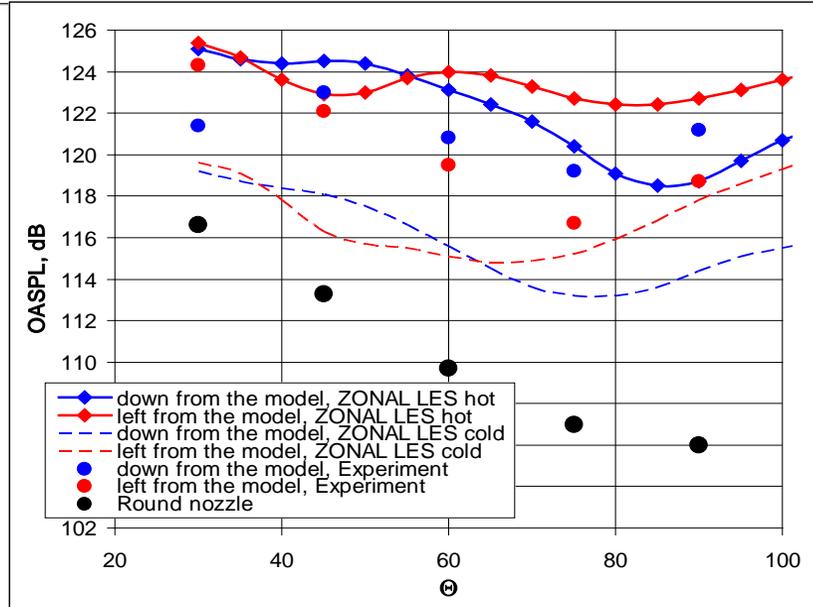
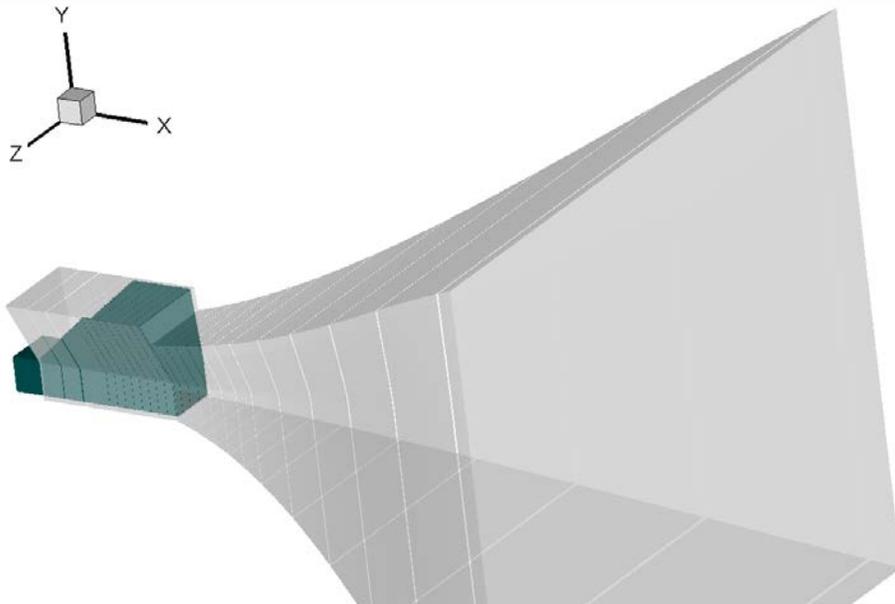
Нет подобия по числу Струхала

$$\sqrt{\frac{505}{288.15}} \approx 1.32$$

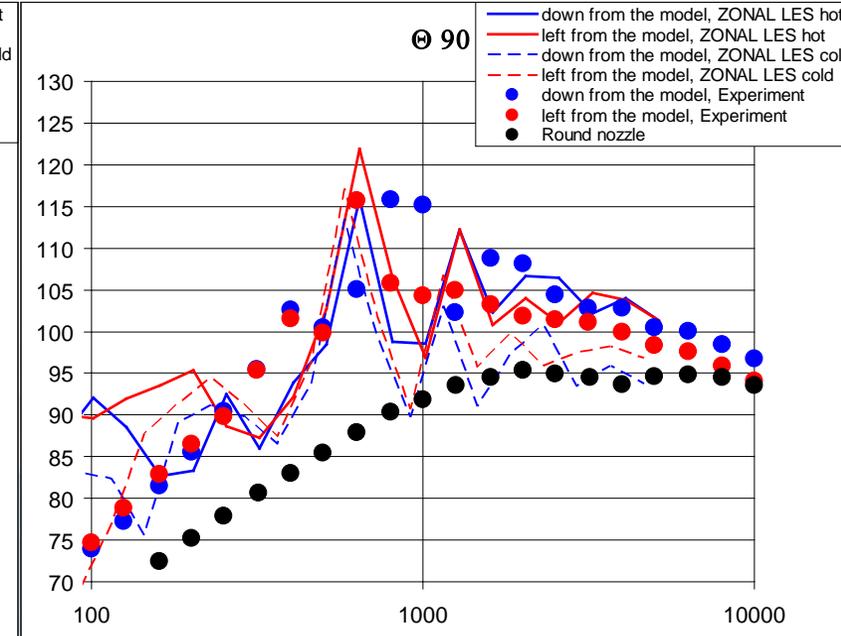
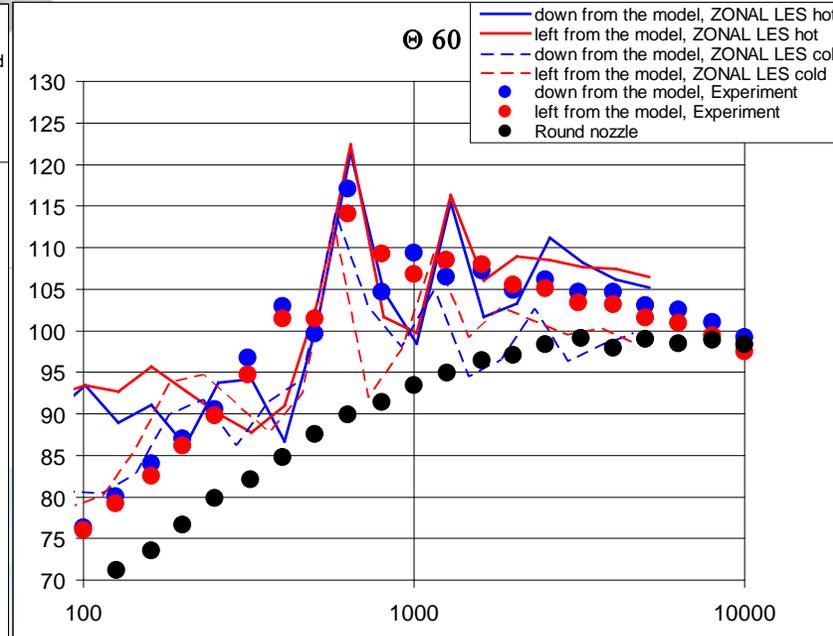
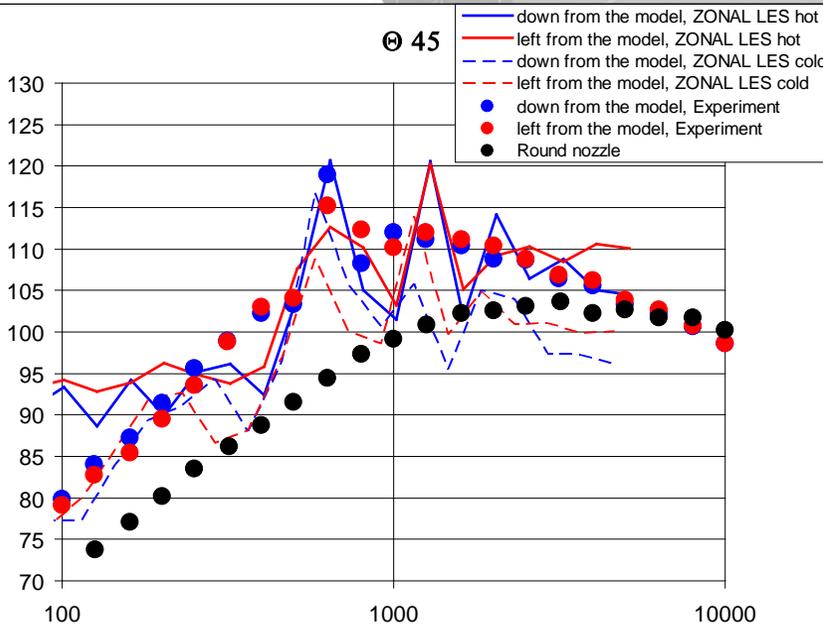
$$\frac{645}{580} \approx 1.11$$



Сопоставление шума в дальнем поле с экспериментом

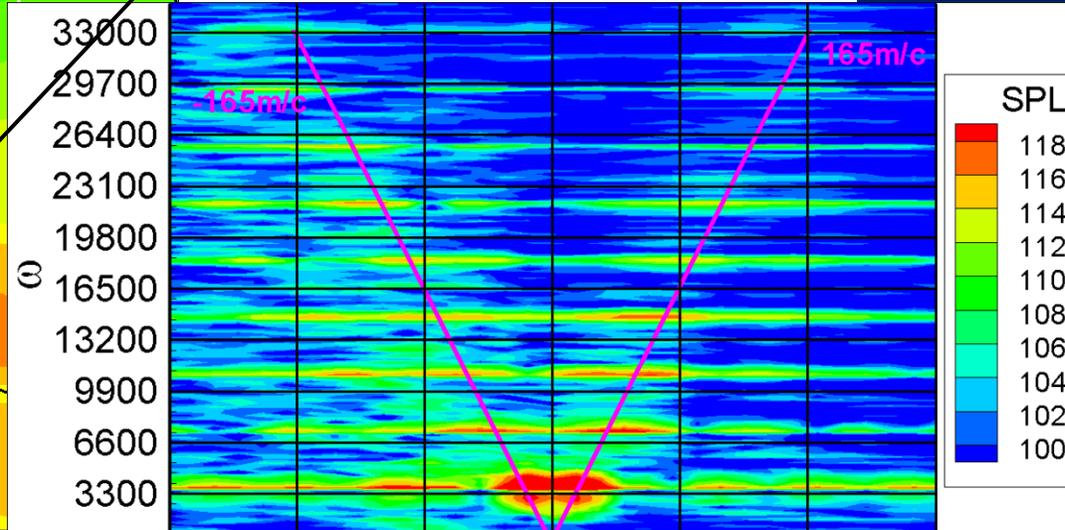
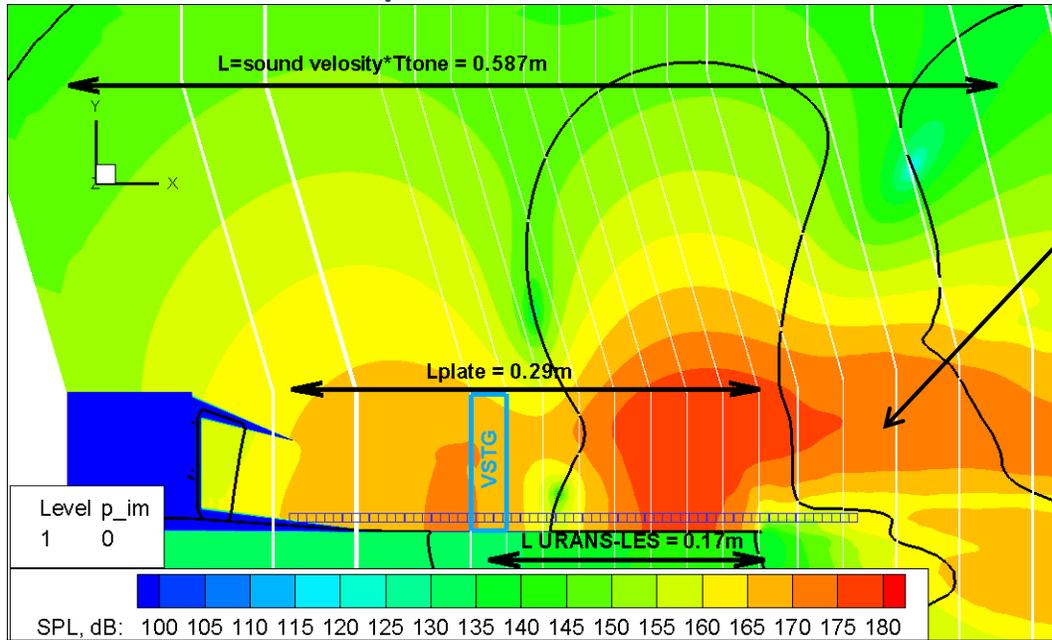


Частота основного тона
 Эксперимент Расчет
 670Hz 645Hz
 Разница 3.7%



Фазовые скорости и поиск возможных точек резонанса

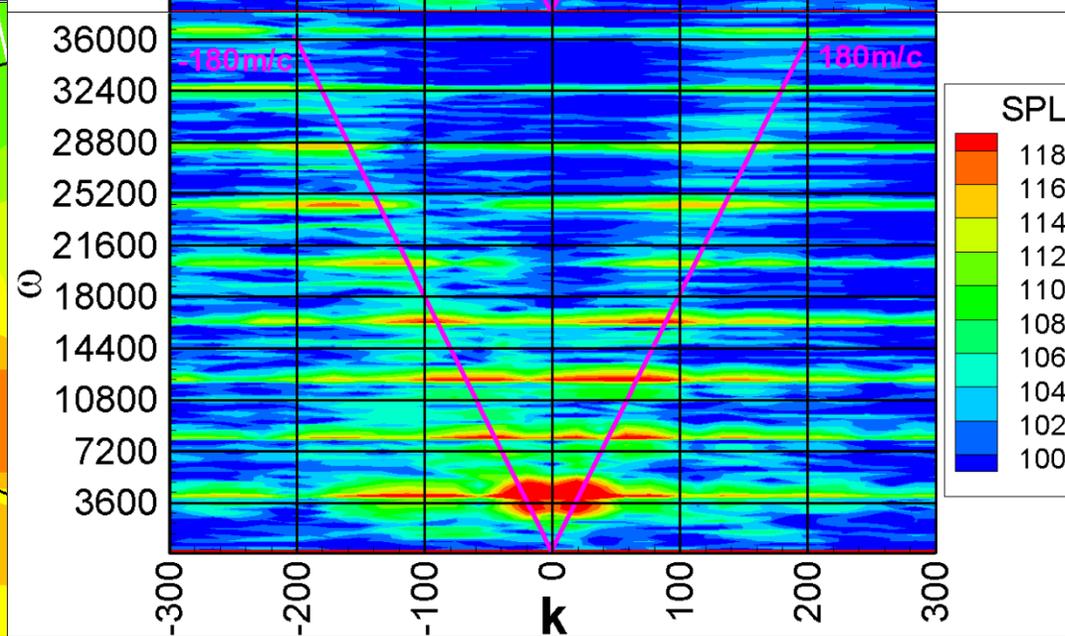
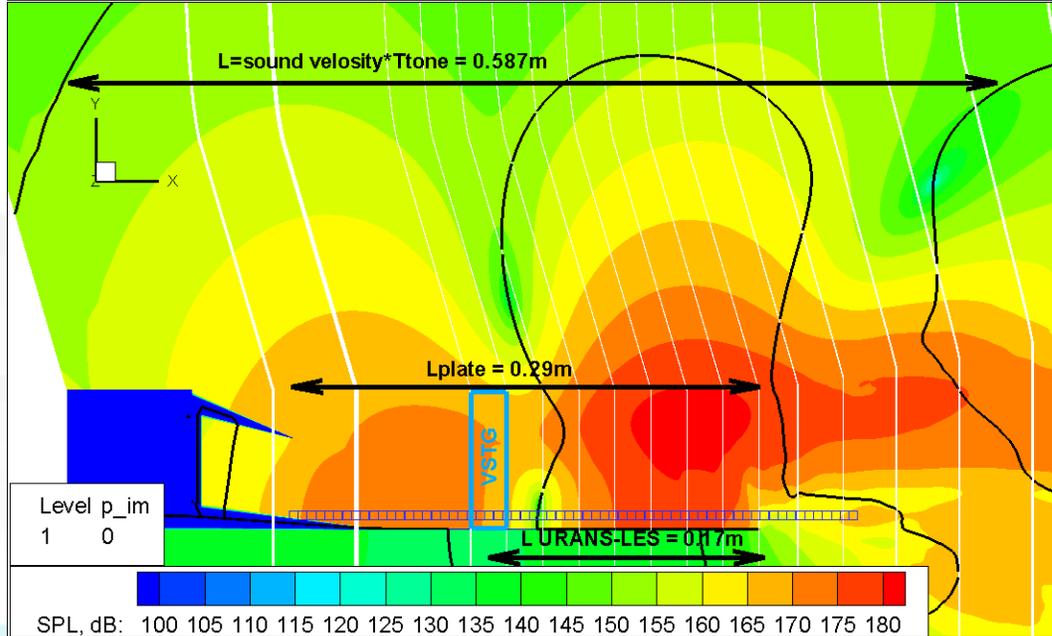
Стоячая волна отражение от свободной границы



$$T = x/u_l + x/u_r$$

$$x = \left(\frac{1}{u_l T} + \frac{1}{u_r T} \right)^{-1} =$$

$$\left(\frac{580}{165} + \frac{580}{165} \right)^{-1} = 0.142m$$

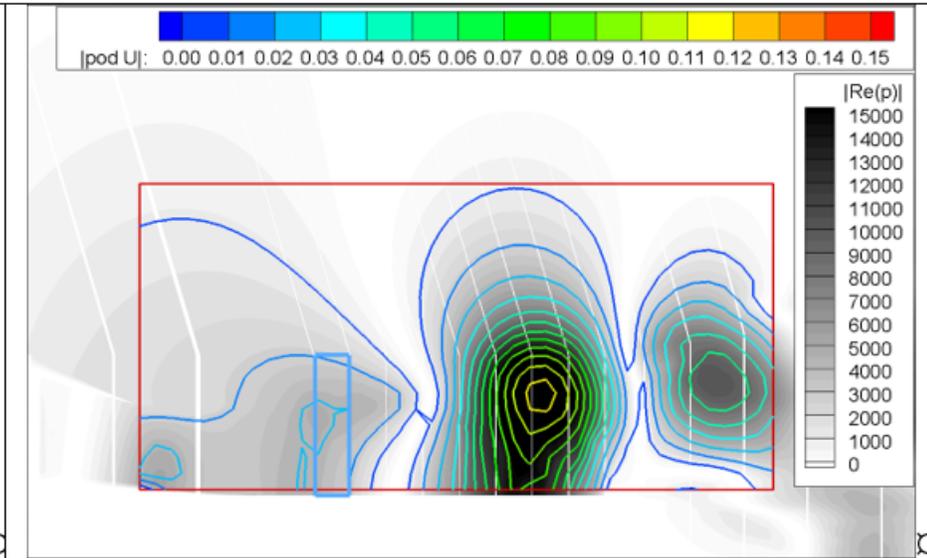
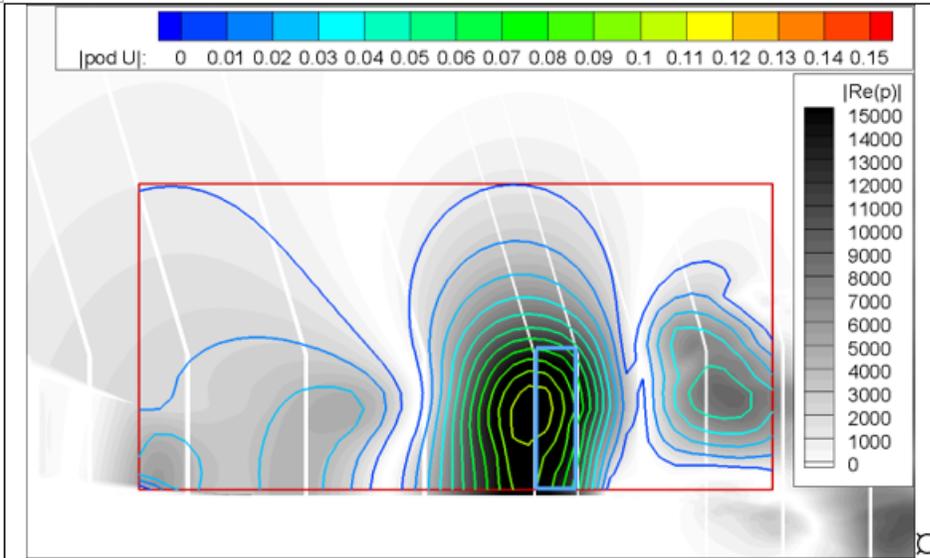


$$T = x/u_l + x/u_r$$

$$x = \left(\frac{1}{u_l T} + \frac{1}{u_r T} \right)^{-1} =$$

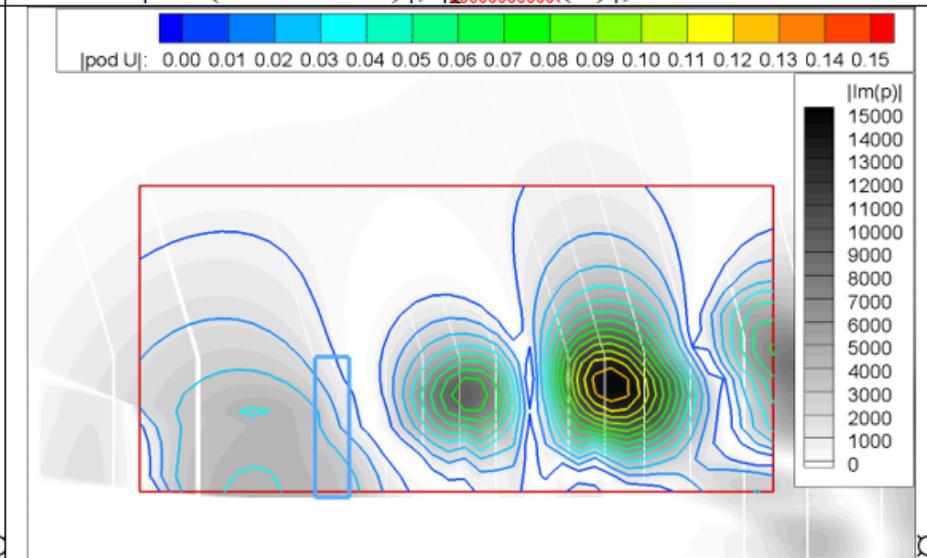
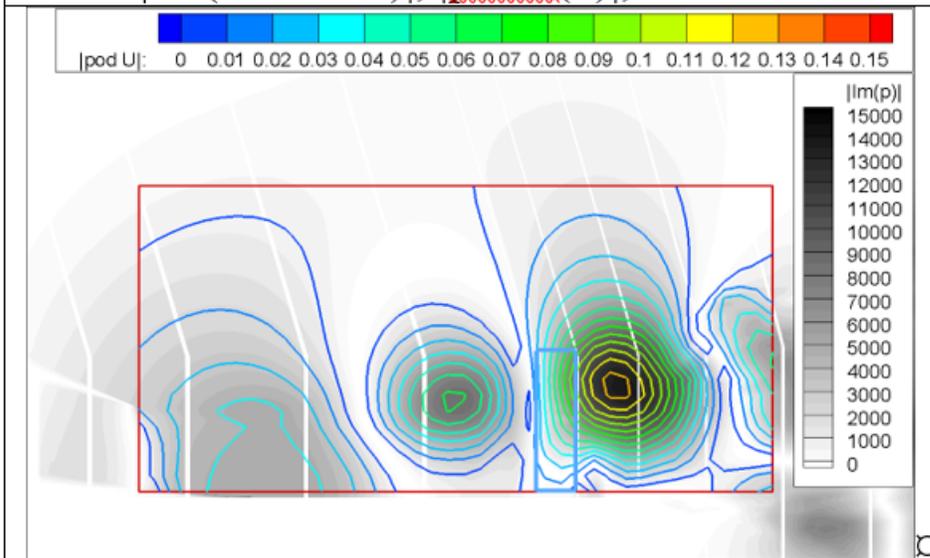
$$\left(\frac{645}{180} + \frac{645}{180} \right)^{-1} = 0.140m$$

POD, $j=1,2$



$|\text{Re}(\text{first tone})|, |\text{pod } U(1)|, \text{model } 1 \alpha$

$|\text{Re}(\text{first tone})|, |\text{pod } U(1)|, \text{model } 2 \alpha$

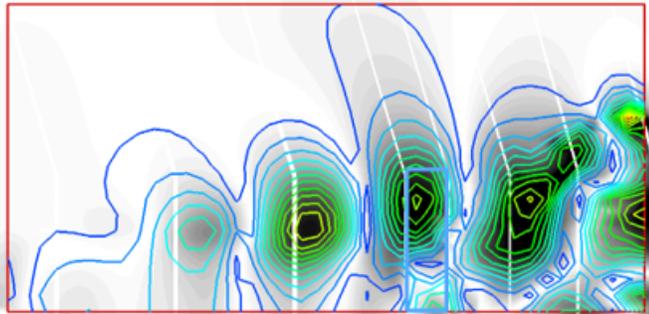


$|\text{Im}(\text{first tone})|, |\text{pod } U(2)|, \text{model } 1 \alpha$

$|\text{Im}(\text{first tone})|, |\text{pod } U(2)|, \text{model } 2 \alpha$

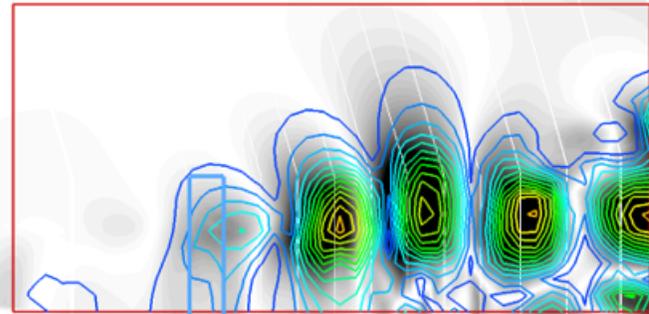
POD, $j=3,4$

|pod U|: 0 0.01 0.02 0.03 0.04 0.05 0.06 0.07 0.08 0.09 0.1 0.11 0.12 0.13 0.14 0.15



|Re(p)|
3000
2800
2600
2400
2200
2000
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0

|pod U|: 0.00 0.01 0.02 0.03 0.04 0.05 0.06 0.07 0.08 0.09 0.10 0.11 0.12 0.13 0.14 0.15

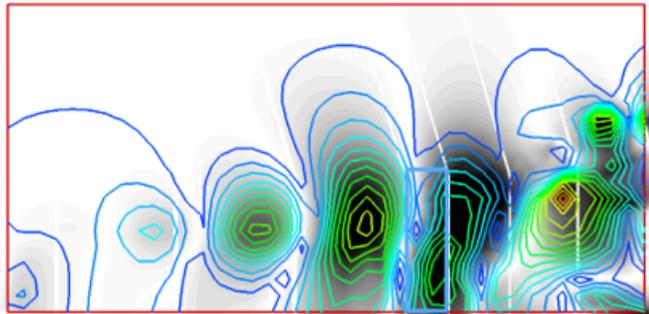


|Re(p)|
3000
2800
2600
2400
2200
2000
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0

$|\text{Re}(\text{second tone})|, |\text{podU}(3)|, \text{model} \cdot 1$

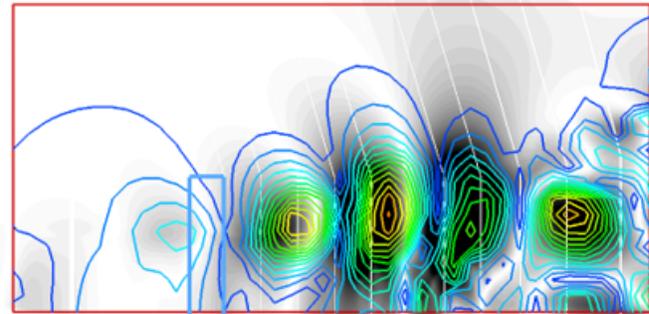
$|\text{Re}(\text{second tone})|, |\text{podU}(3)|, \text{model} \cdot 2$

|pod U|: 0 0.01 0.02 0.03 0.04 0.05 0.06 0.07 0.08 0.09 0.1 0.11 0.12 0.13 0.14 0.15



|Im(p)|
3000
2800
2600
2400
2200
2000
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0

|pod U|: 0.00 0.01 0.02 0.03 0.04 0.05 0.06 0.07 0.08 0.09 0.10 0.11 0.12 0.13 0.14 0.15



|Im(p)|
3000
2800
2600
2400
2200
2000
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0

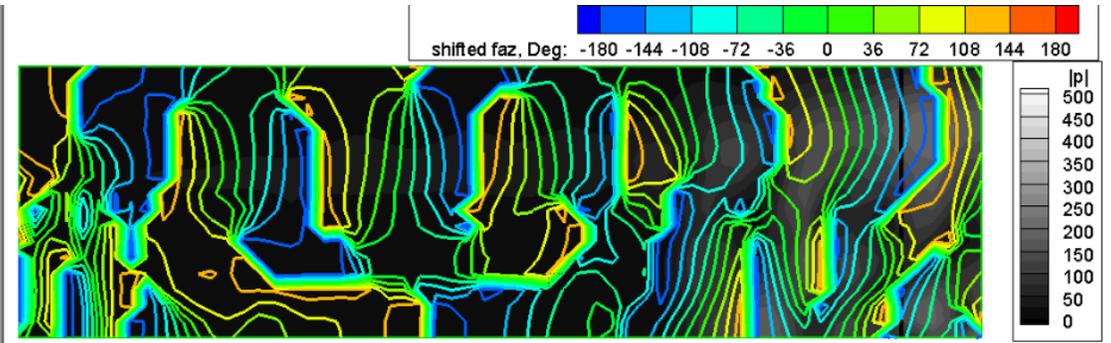
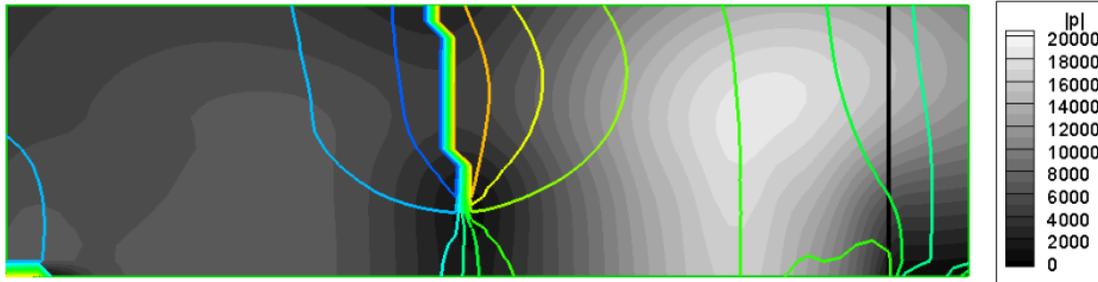
$|\text{Im}(\text{second tone})|, |\text{podU}(4)|, \text{model} \cdot 1$

$|\text{Im}(\text{second tone})|, |\text{podU}(4)|, \text{model} \cdot 2$

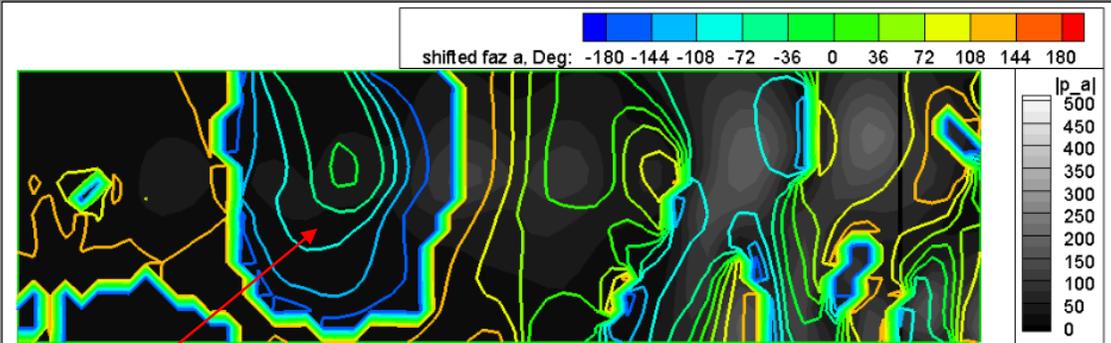
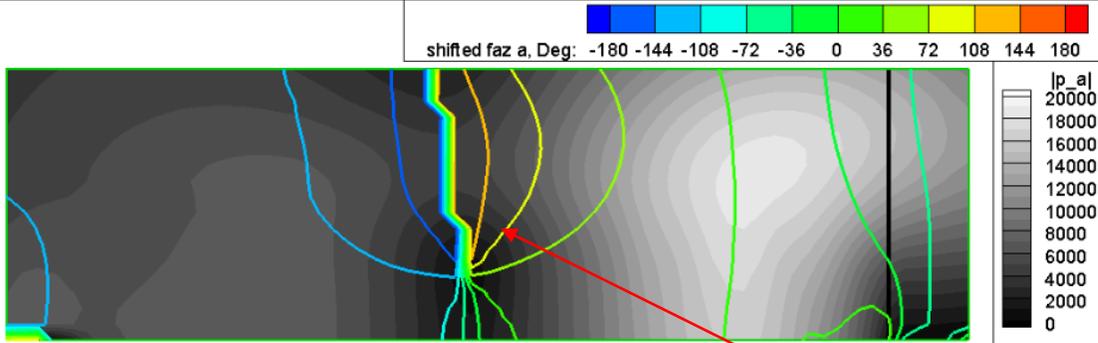
Linear Stochastic Estimation

W=control, U= original signal; LSE: $U \Rightarrow (U*W)$

Original



LSE

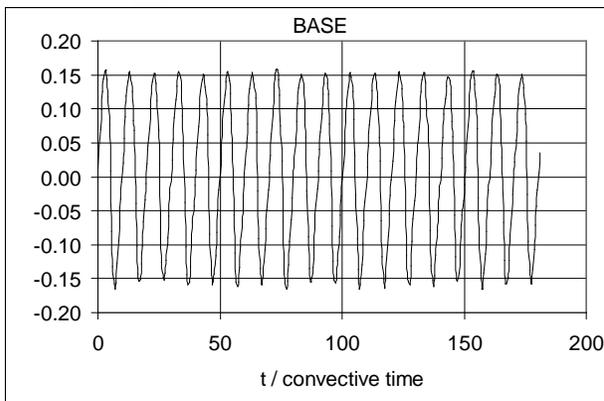


reflections

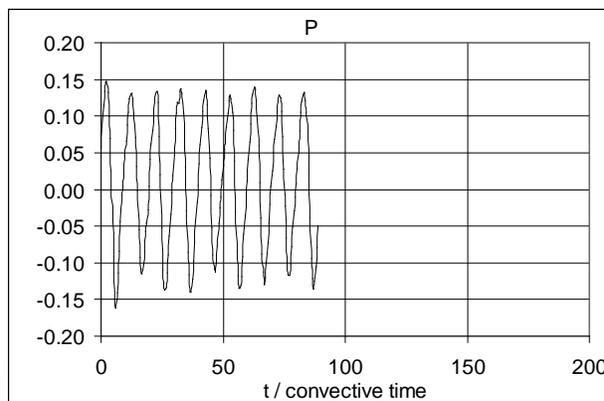
Влияние геометрии в окрестности точки отражения

Добавление полукруга к нижней пластине слабо влияет на частоту и амплитуду

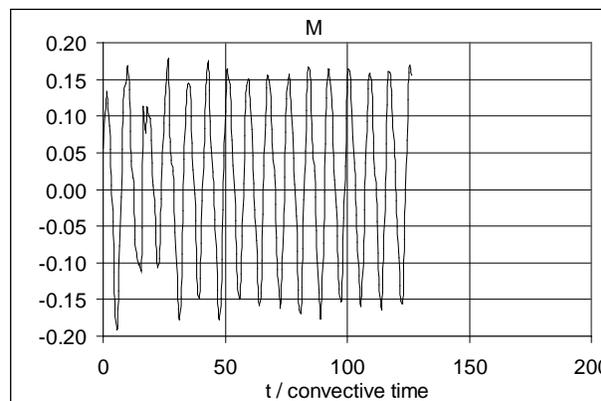
Вырез в боковых стенках ведет к росту частоты



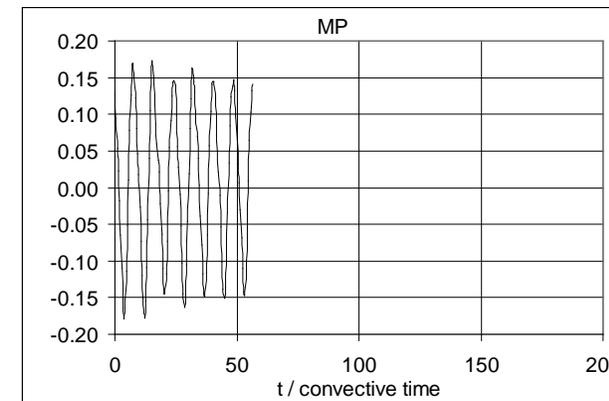
645Hz



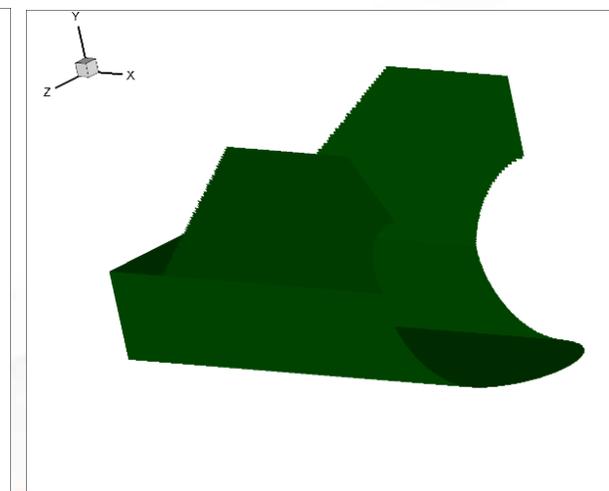
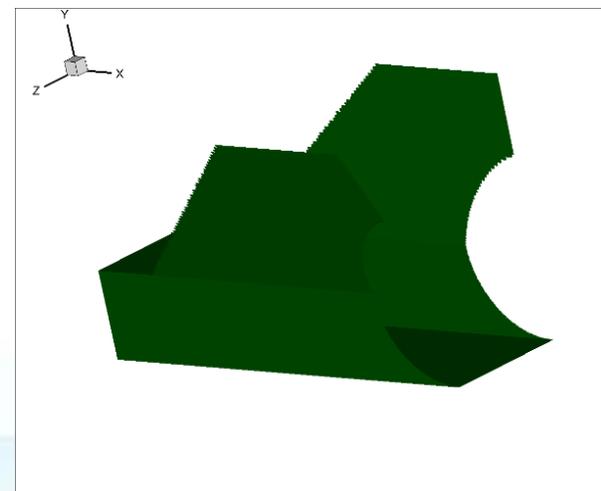
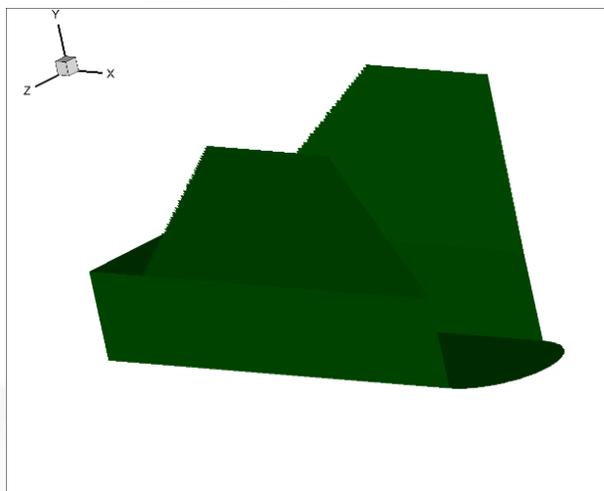
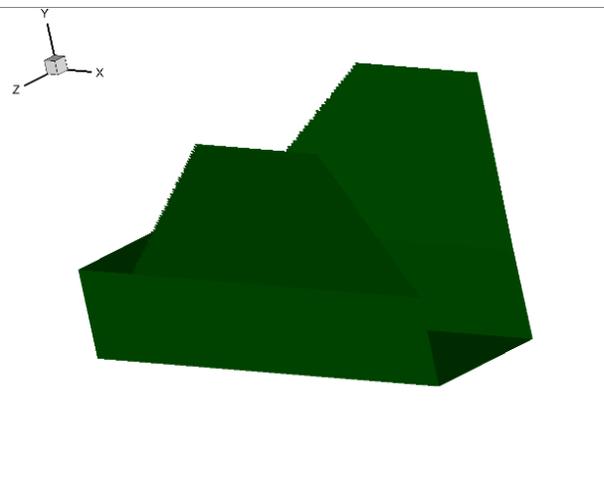
645Hz



780Hz

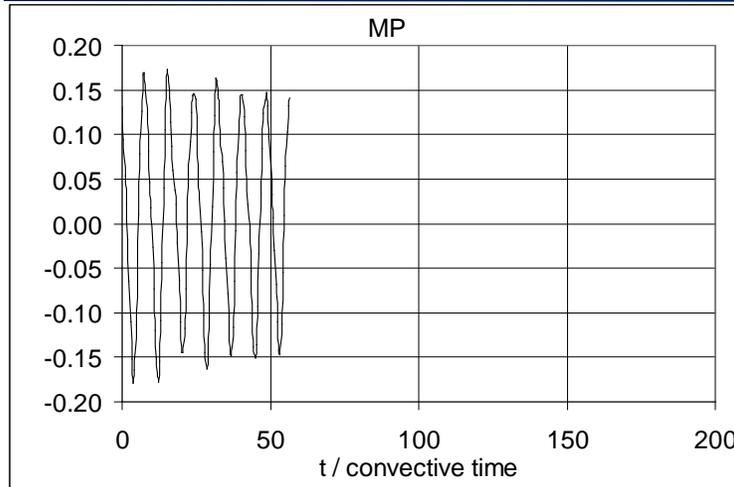


780Hz

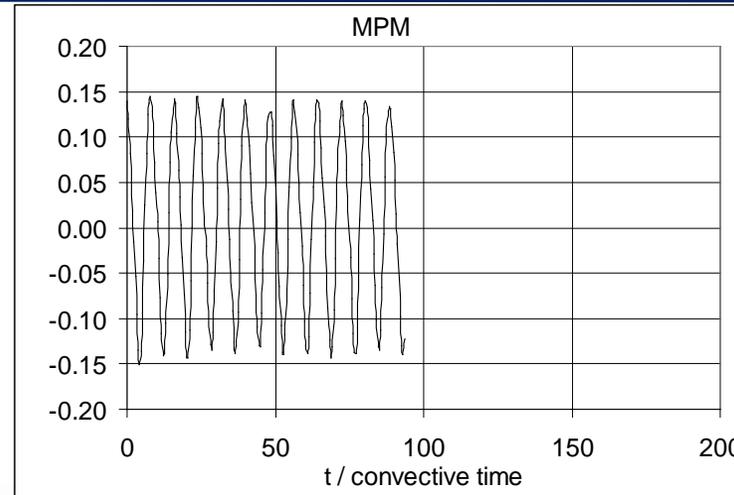


Влияние геометрии в окрестности точки отражения

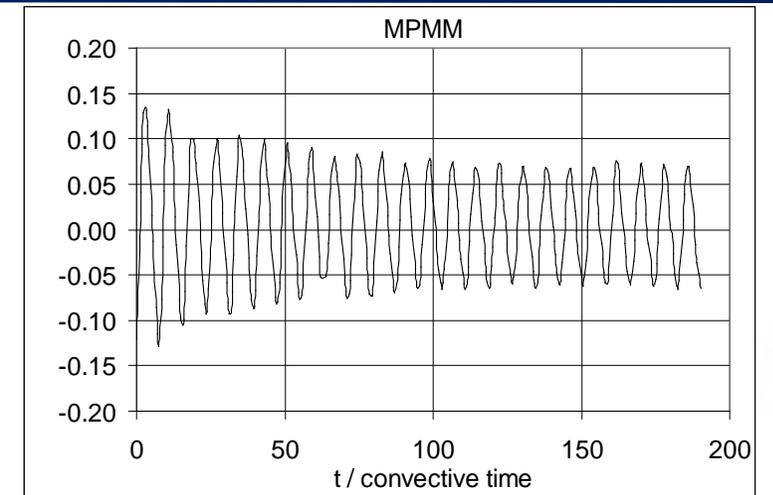
Конфигурации отличаются только областью с которой струя не взаимодействует но уменьшение стенок приводит к росту частоты а у варианта МРММ падает амплитуда



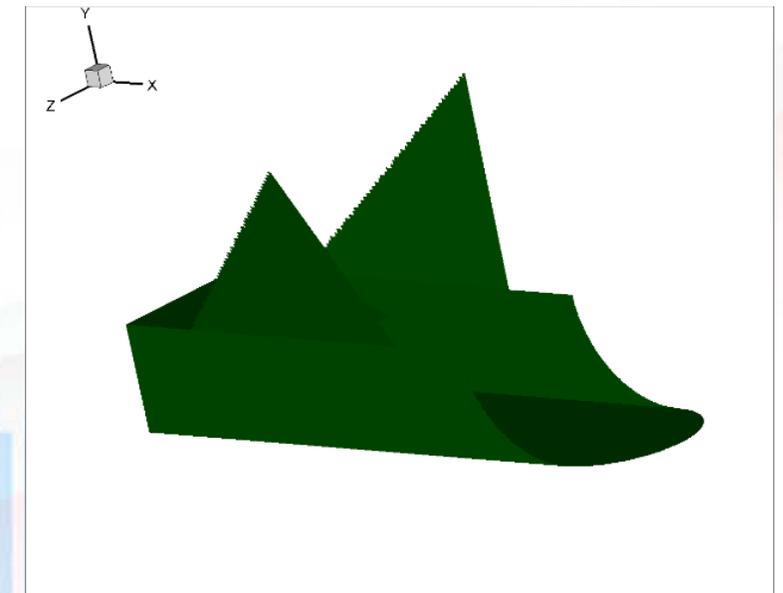
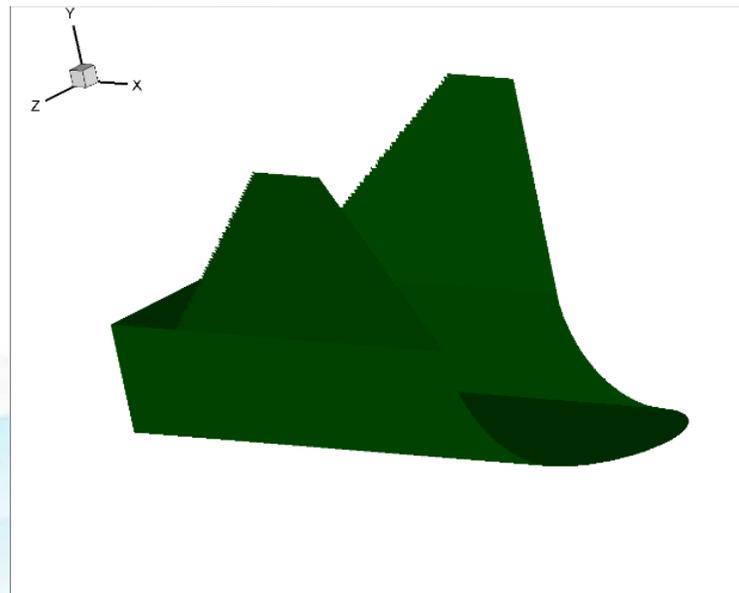
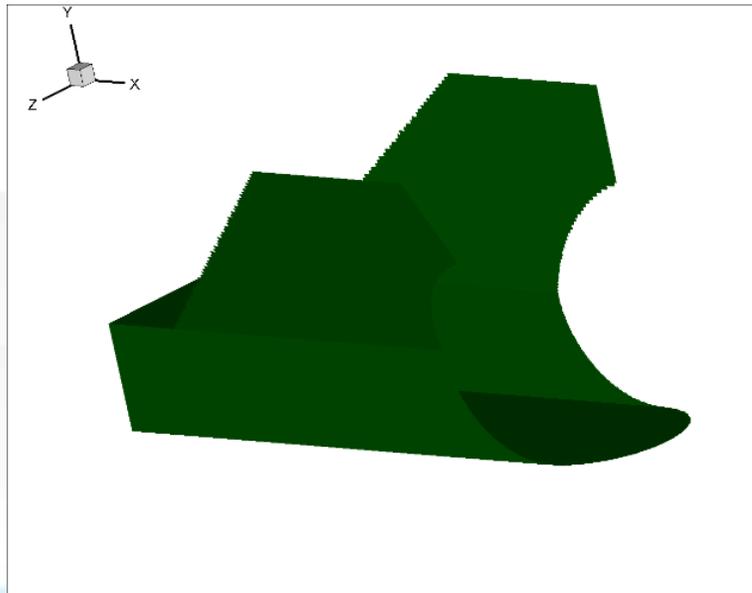
780Hz



795Hz



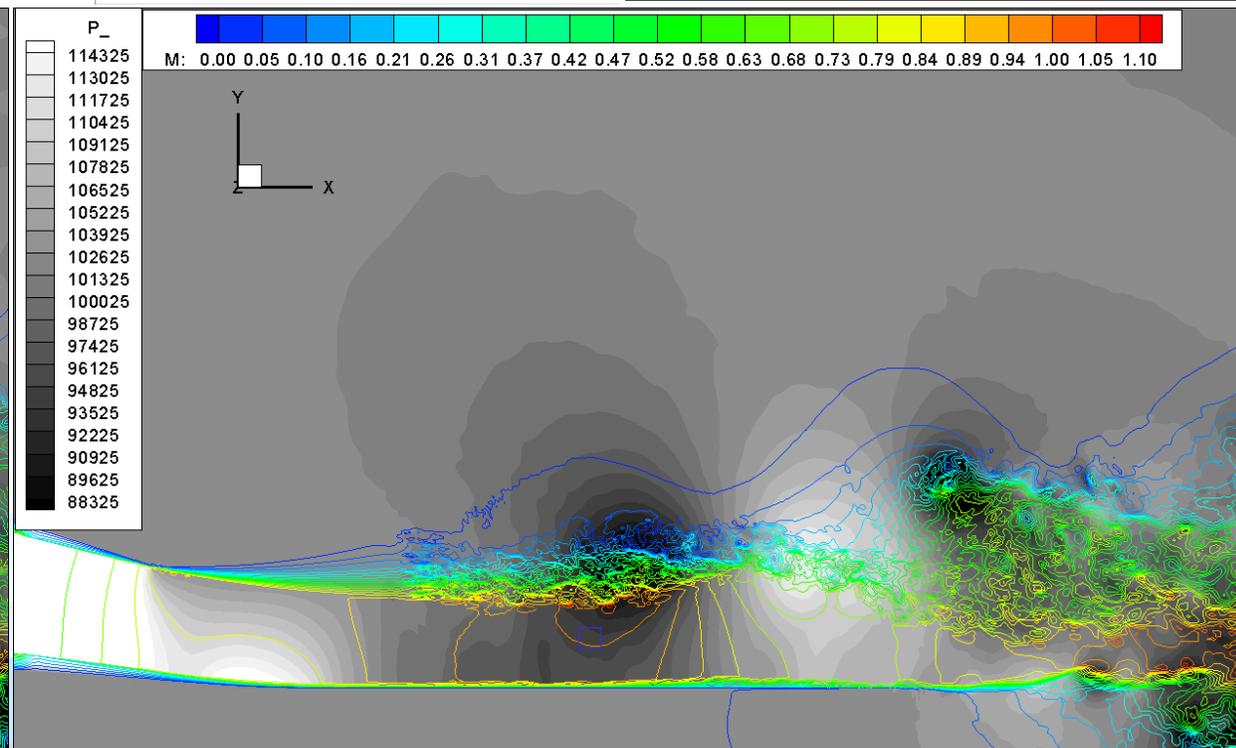
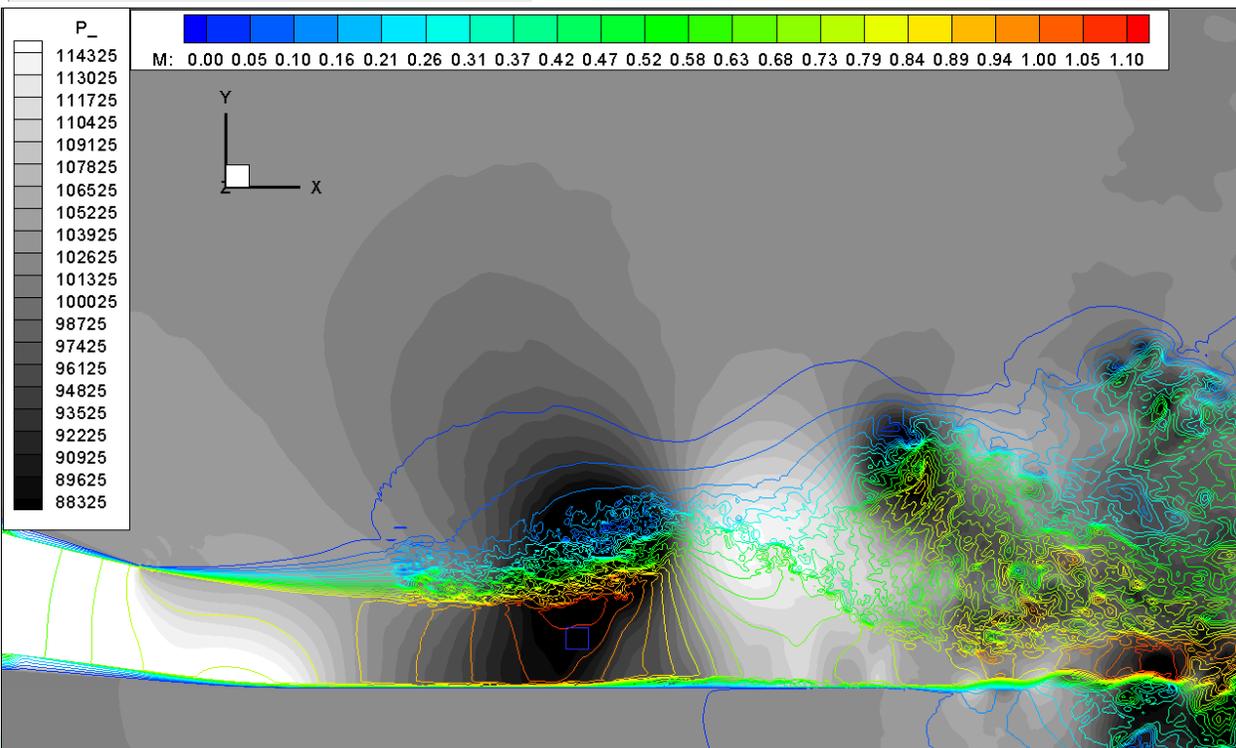
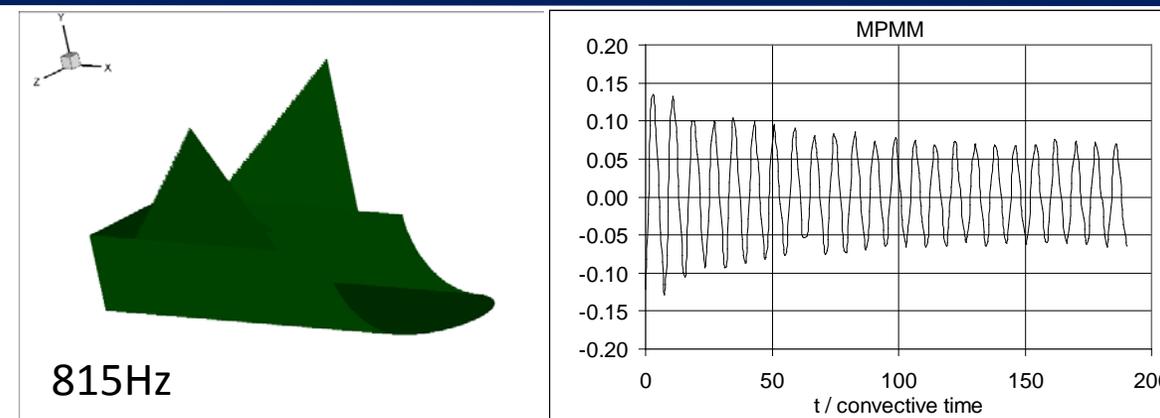
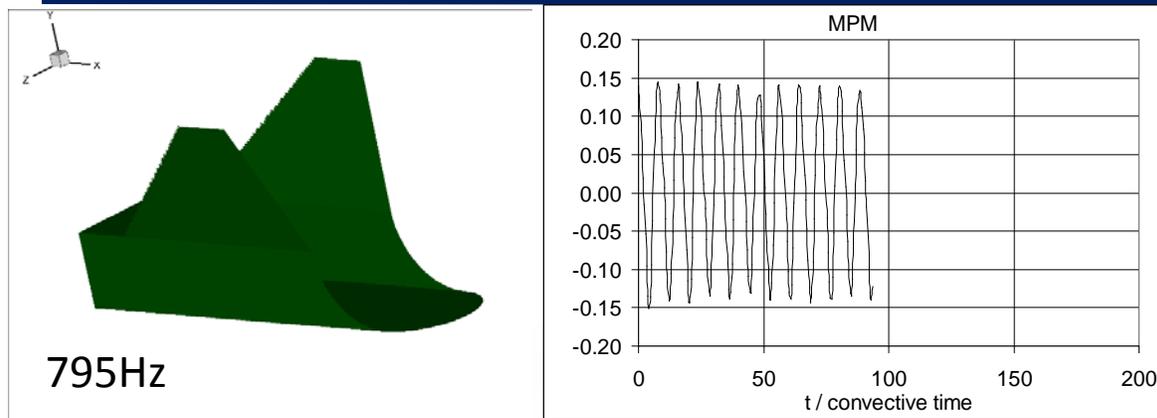
815Hz



Влияние геометрии в окрестности точки отражения

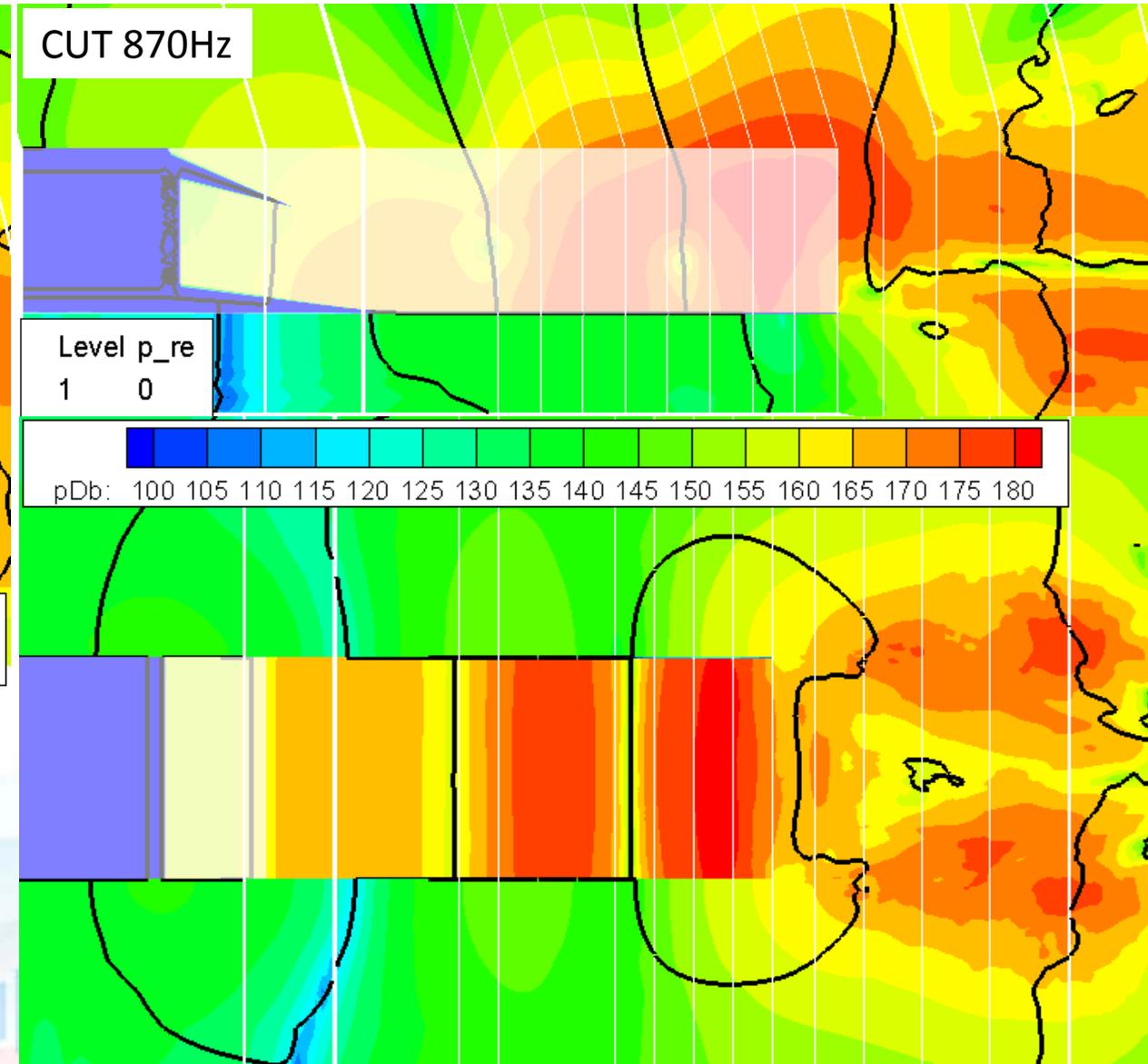
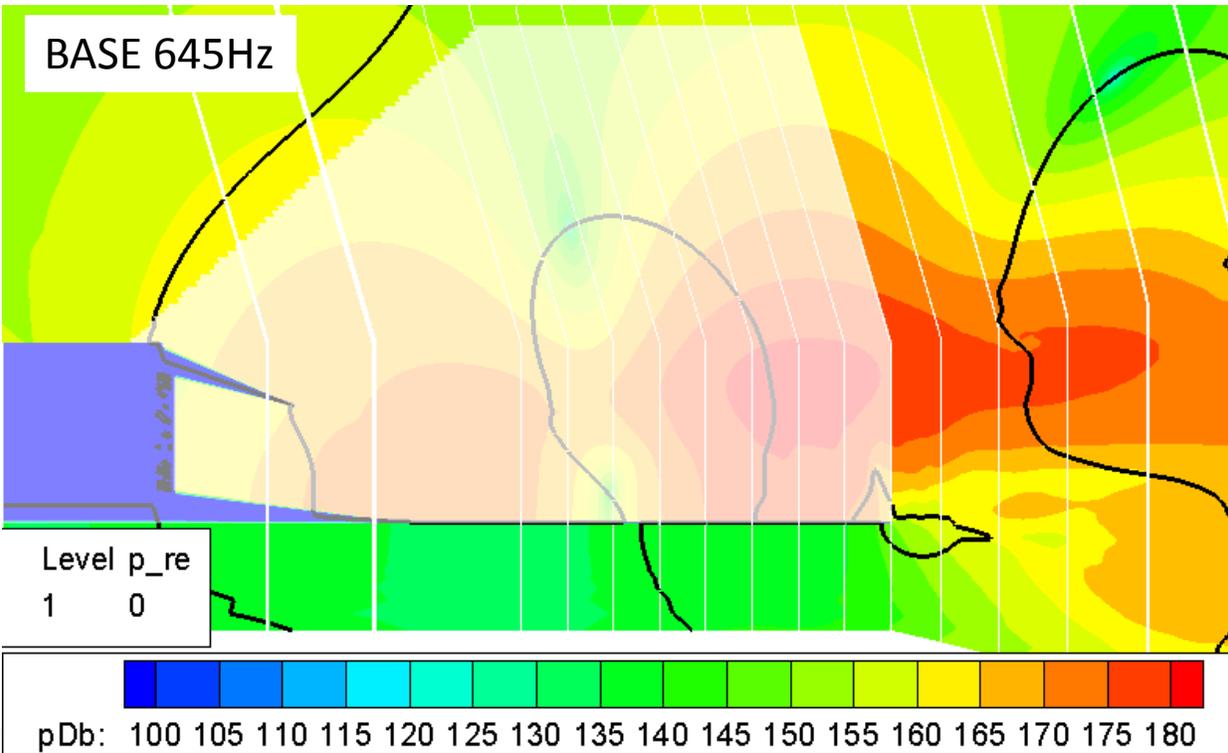
Стабилизация амплитуды происходит на уровне исчезновения сверхзвуковых зон

Предположительно сверхзвуковые зоны фактор рассеивающий энергию из цикла



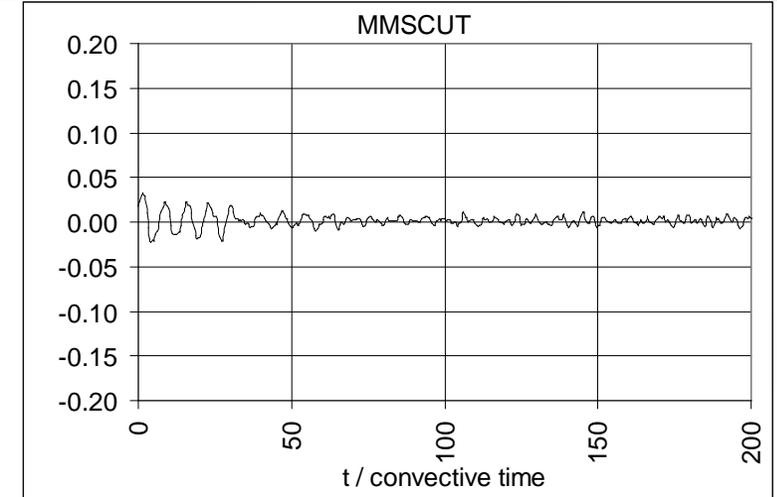
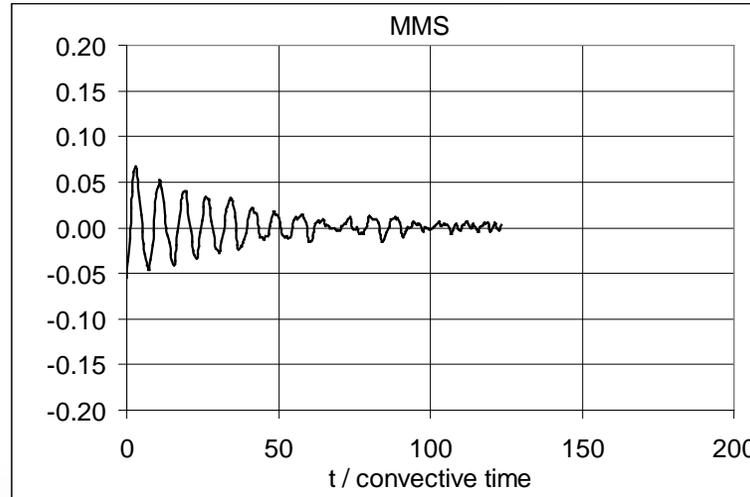
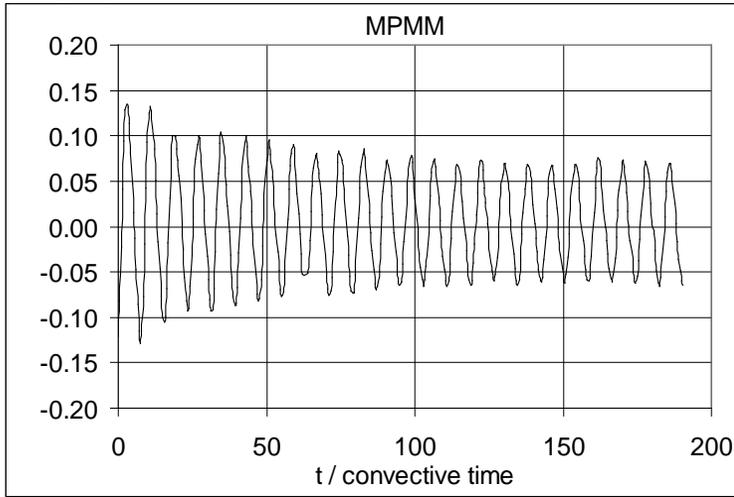
Влияние геометрии в окрестности точки отражения

Процесс проявляется даже если убрать кили, он не определяется отражением от них, но длина волны на которой он может развиваться ограничена высотой канала

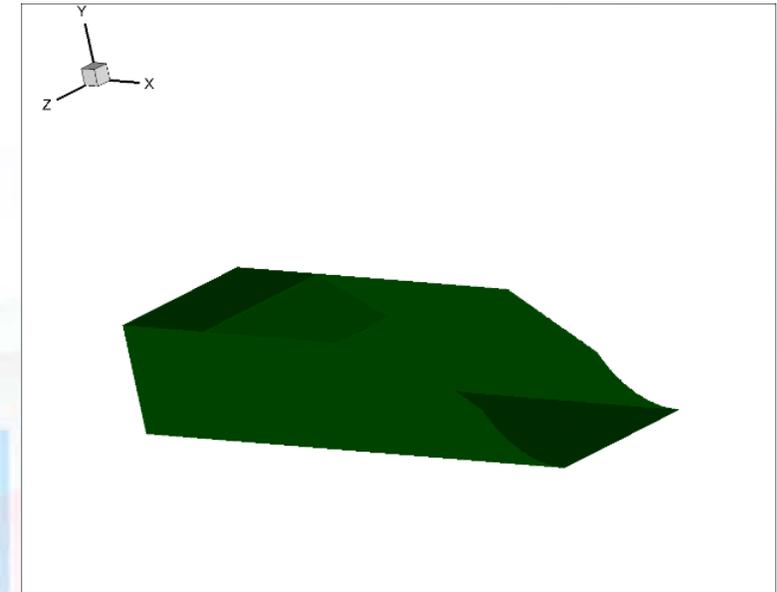
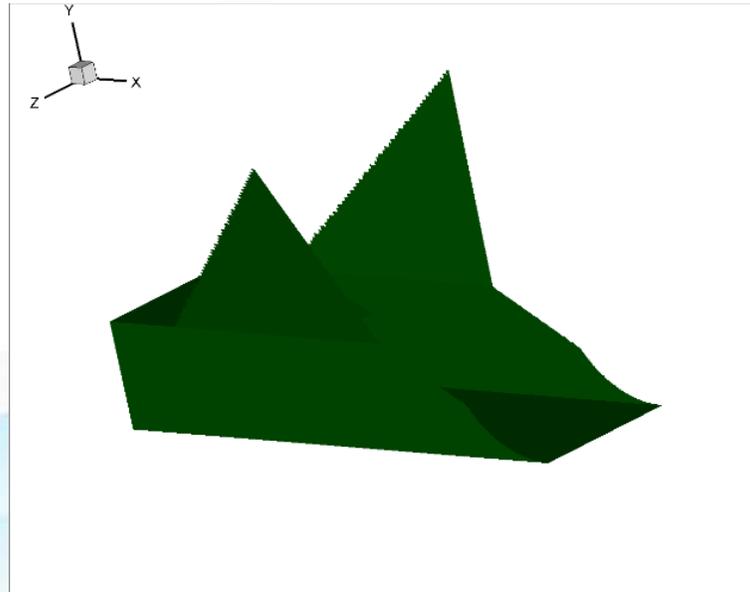
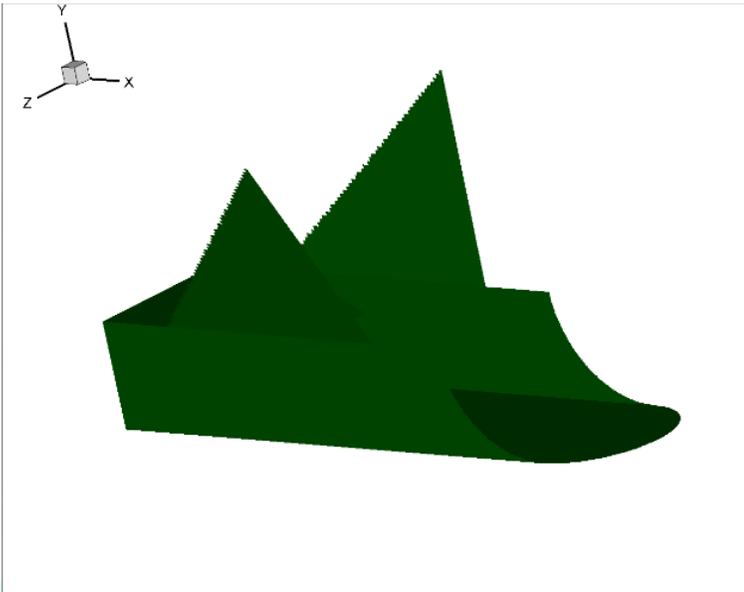


Влияние геометрии в окрестности точки отражения

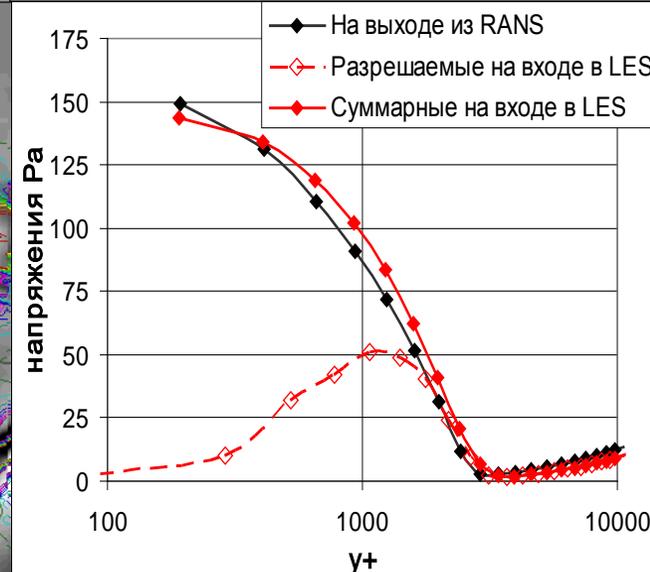
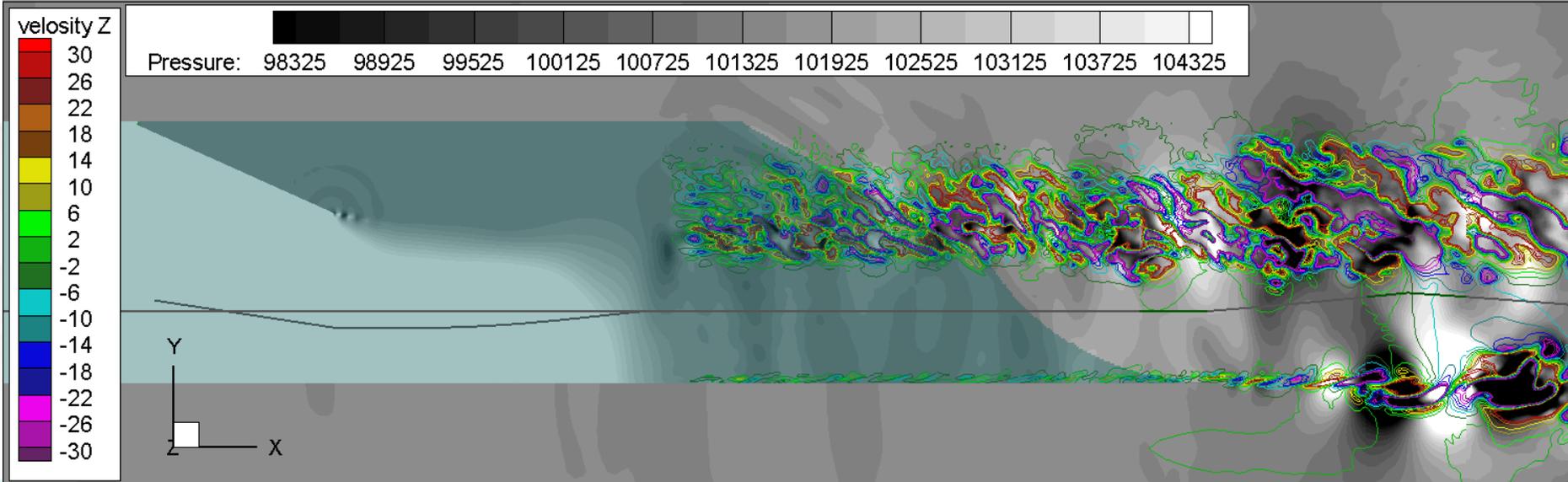
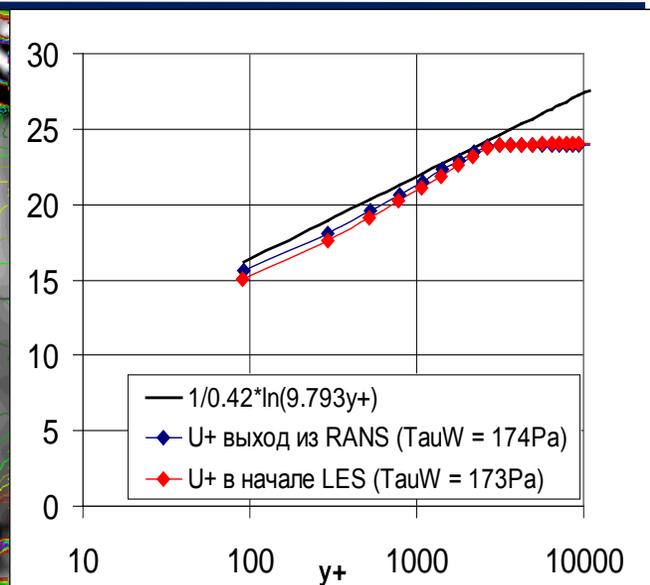
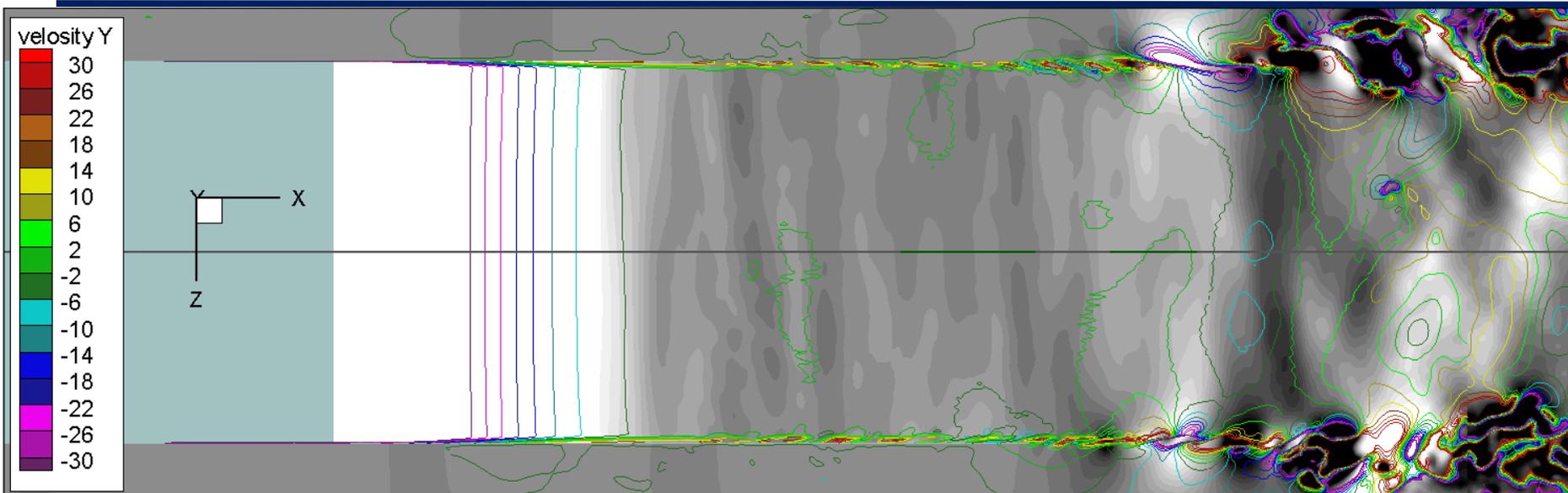
Конфигурации отличаются только областью с которой струя не взаимодействует но уменьшение стенок приводит к росту частоты а у варианта МРММ падает амплитуда



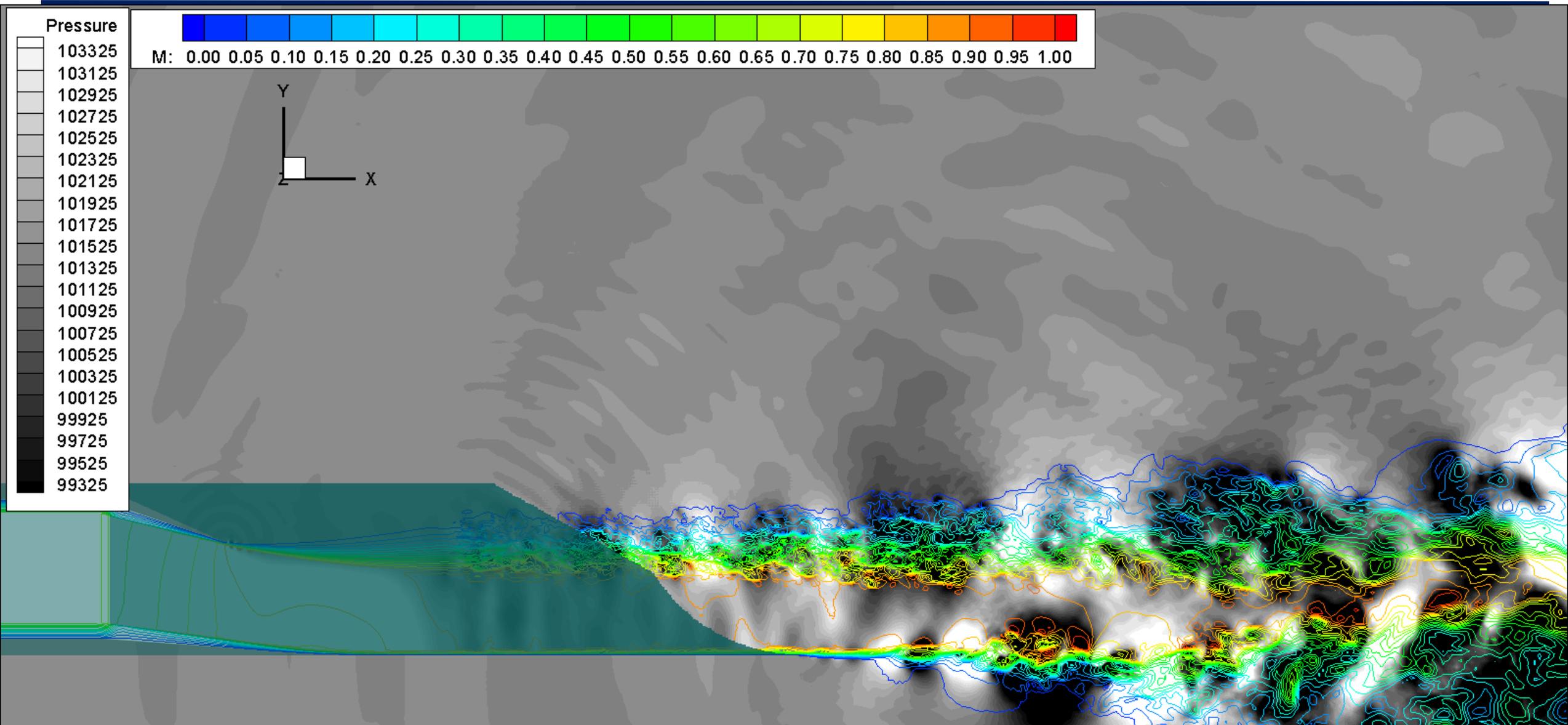
815Hz



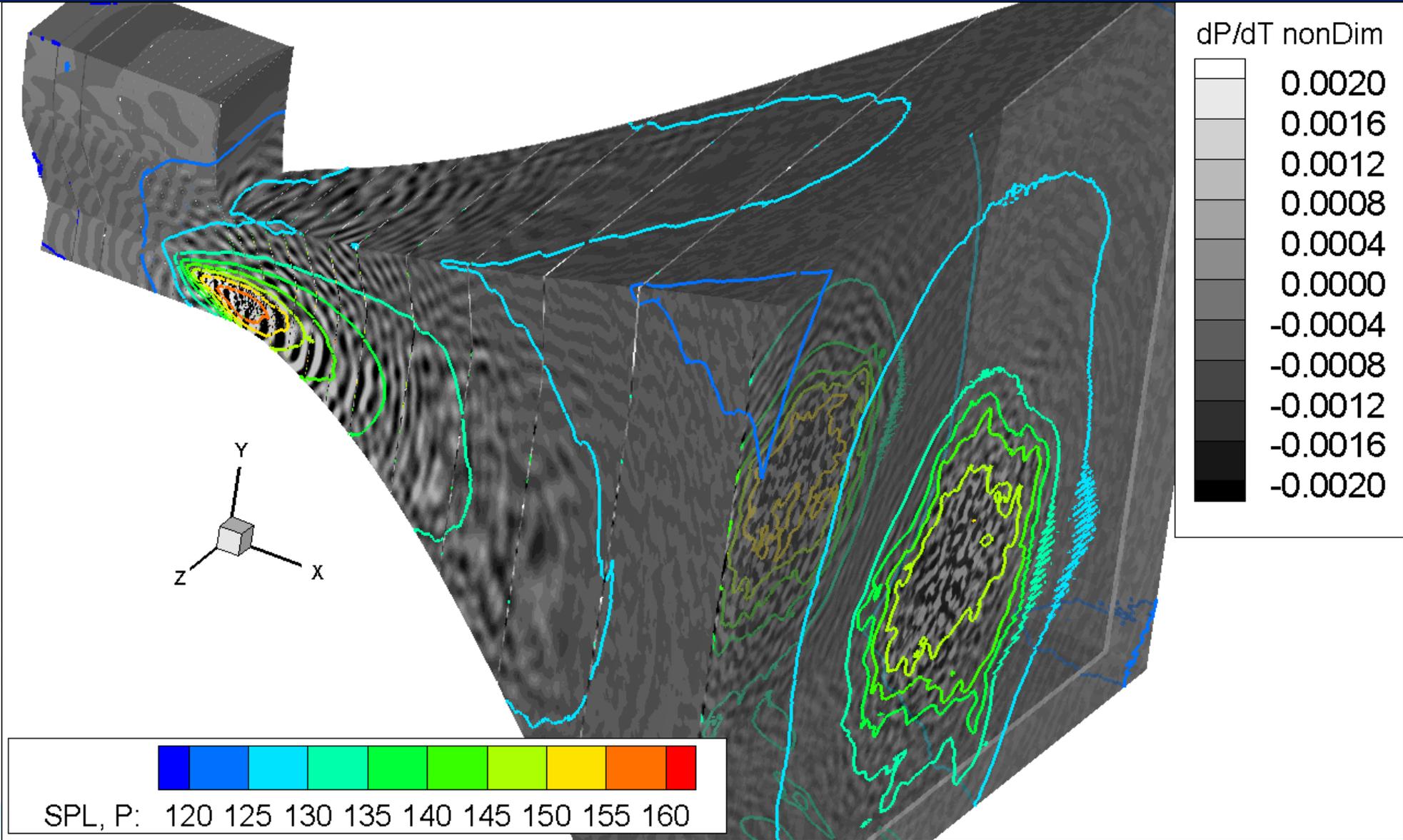
Картина течения при отсутствии колебаний струи (MMSCUT)



Картина течения при отсутствии колебаний струи (MMSCUT)

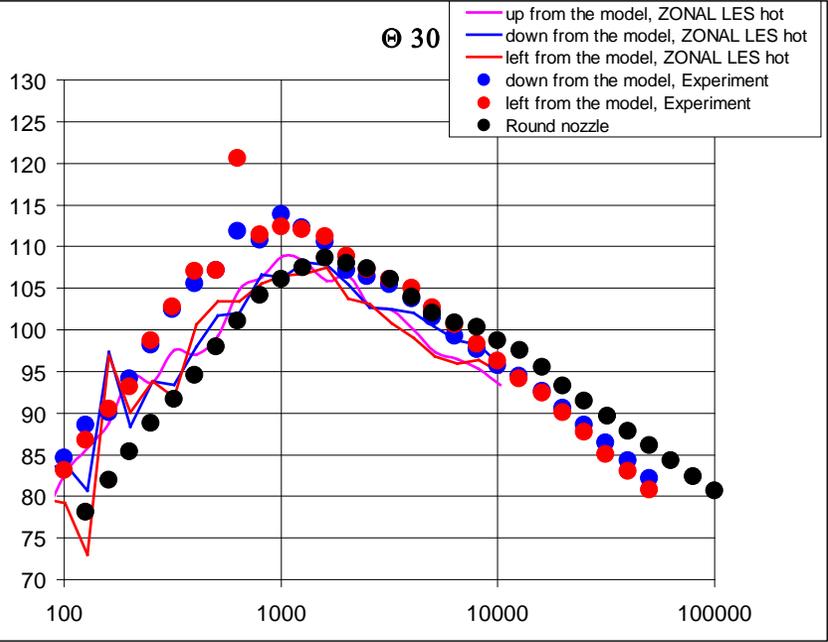


Контрольная поверхность и шума в дальнем поле (MMSCUT)

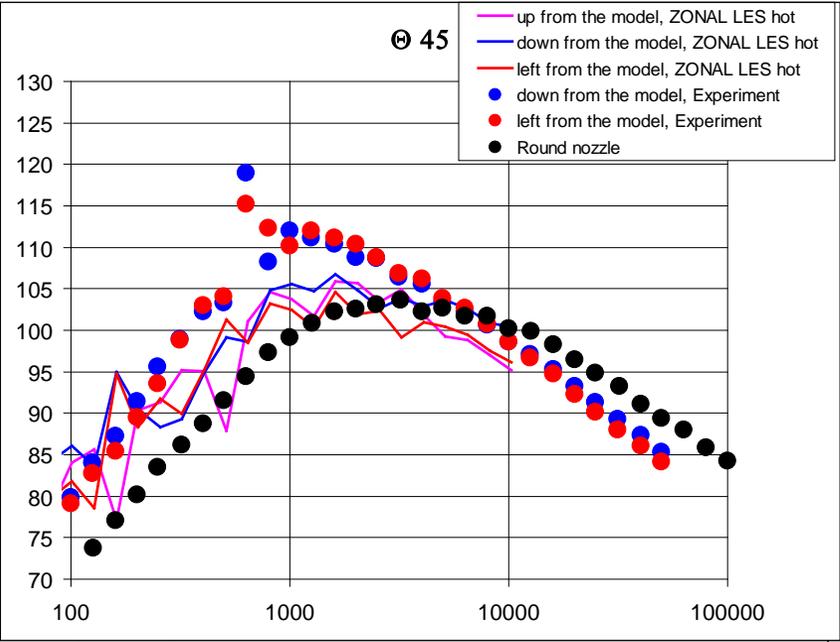


Третьооктавные спектры шума в дальнем поле (MMSCUT)

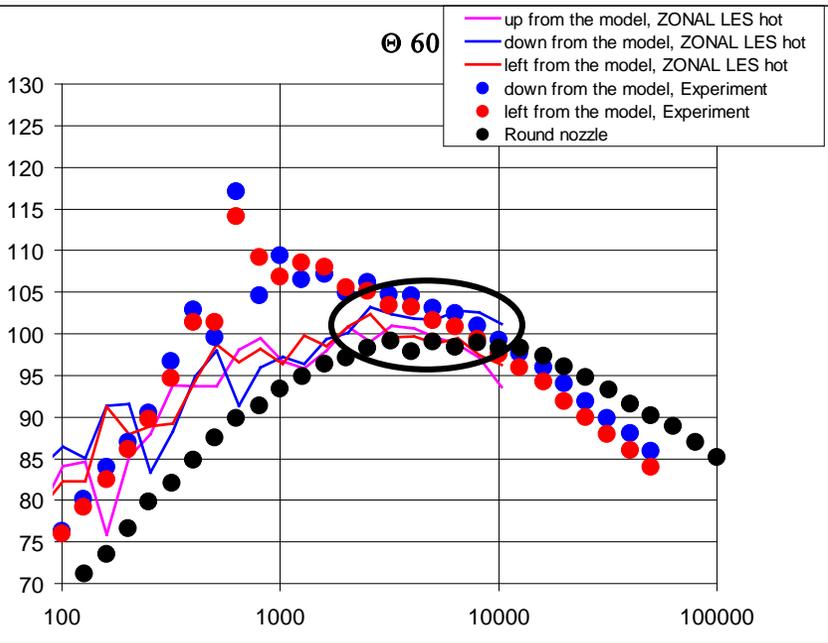
⊕ 30



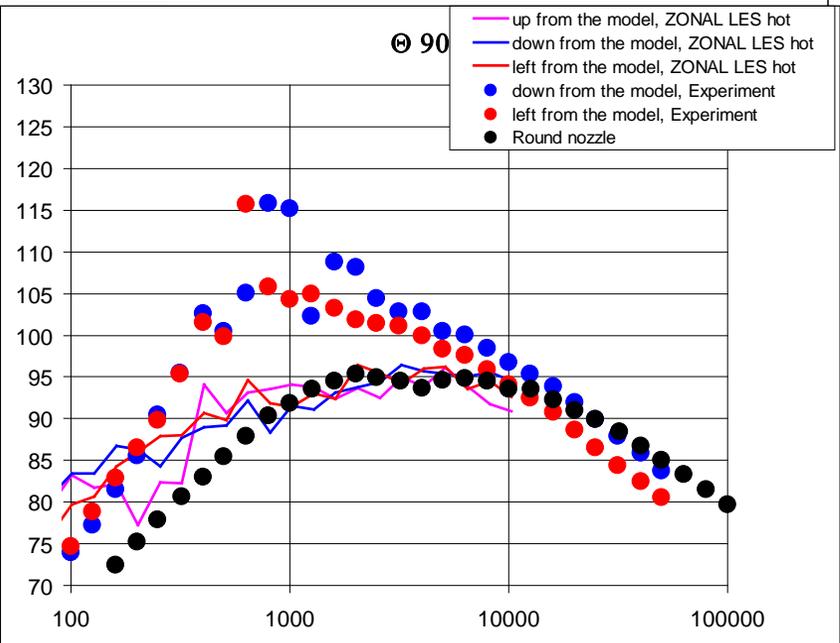
⊕ 45



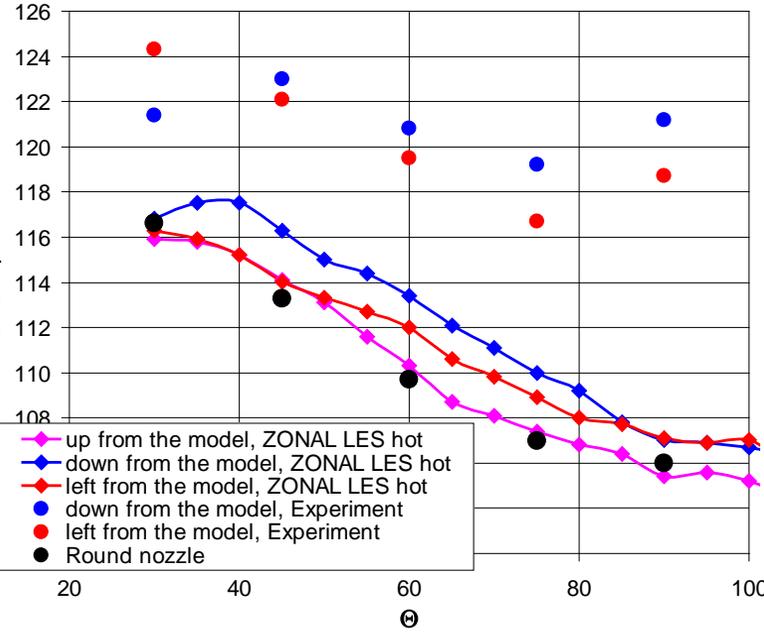
⊕ 60



⊕ 90

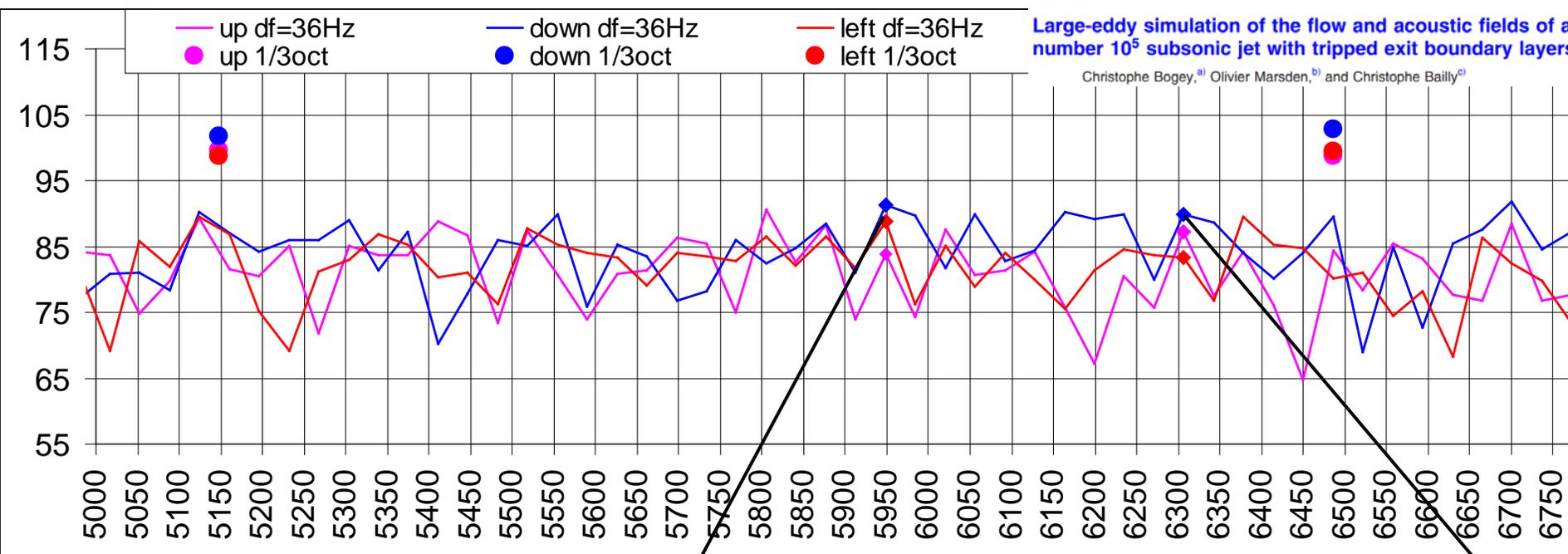


OASPL, dB



- up from the model, ZONAL LES hot (pink line with diamonds)
- down from the model, ZONAL LES hot (blue line with diamonds)
- left from the model, ZONAL LES hot (red line with diamonds)
- down from the model, Experiment (blue dots)
- left from the model, Experiment (red dots)
- Round nozzle (black dots)

Структура шума направленного вниз для $\Theta=60^\circ$



Large-eddy simulation of the flow and acoustic fields of a Reynolds number 10^5 subsonic jet with tripped exit boundary layers

Christophe Bogey,^(a) Olivier Marsden,^(b) and Christophe Bailly^(c)

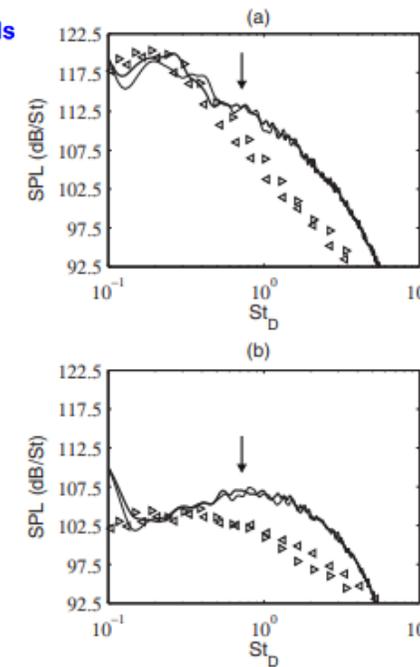
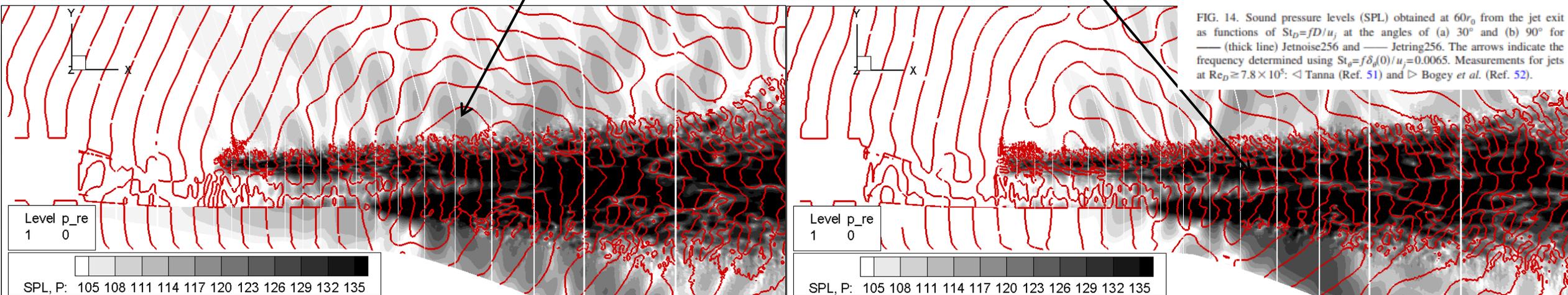


FIG. 14. Sound pressure levels (SPL) obtained at $60r_0$ from the jet exit as functions of $St_D = fD/u_j$ at the angles of (a) 30° and (b) 90° for — (thick line) Jetnoise256 and — (thin line) Jetring256. The arrows indicate the frequency determined using $St_f = f\delta_f(0)/u_j = 0.0065$. Measurements for jets at $Re_D \approx 7.8 \times 10^5$: \triangleleft Tanna (Ref. 51) and \triangleright Bogey *et al.* (Ref. 52).



Спасибо за внимание