

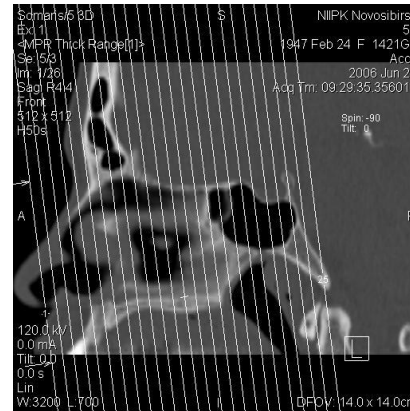
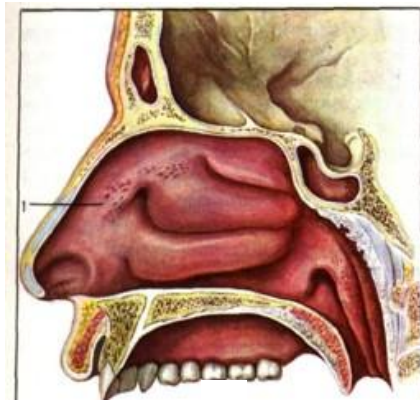


ФОРМА НОСОВОЙ ПОЛОСТИ И СТРУКТУРА ТЕЧЕНИЯ ВОЗДУХА В НОСУ ЧЕЛОВЕКА. РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

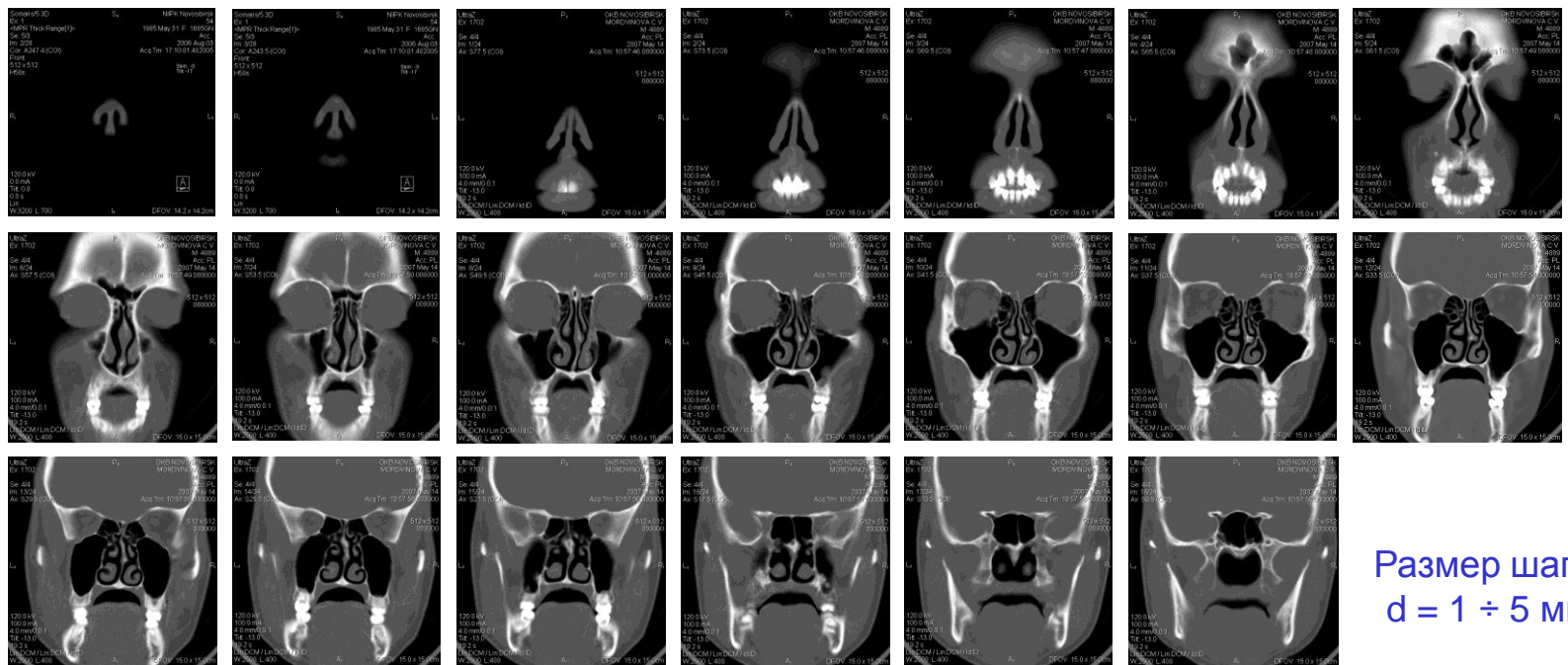
В.М. Фомин, В.Л. Ганимедов, М.И. Мучная, А.С. Садовский, В.Н. Шепеленко

*Институт теоретической и прикладной механики
им. С.А. Христиановича
СО РАН*

Объект моделирования

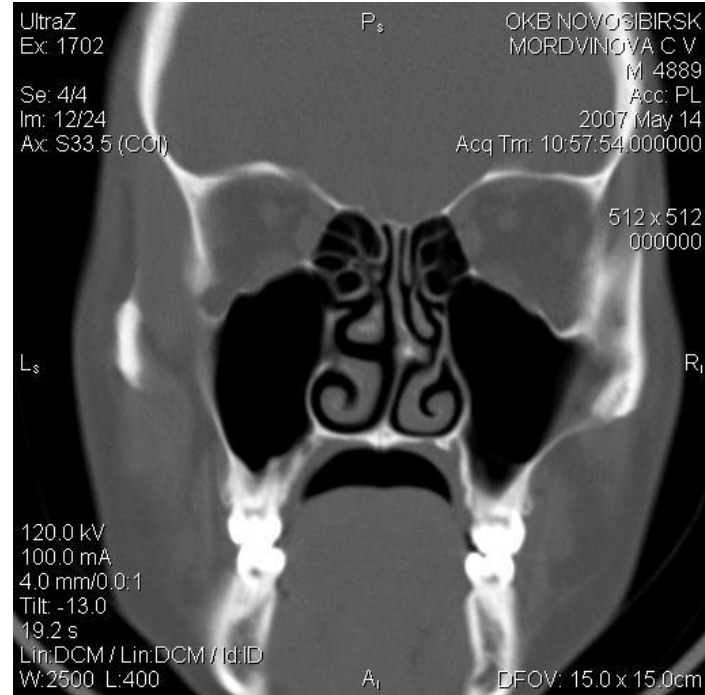
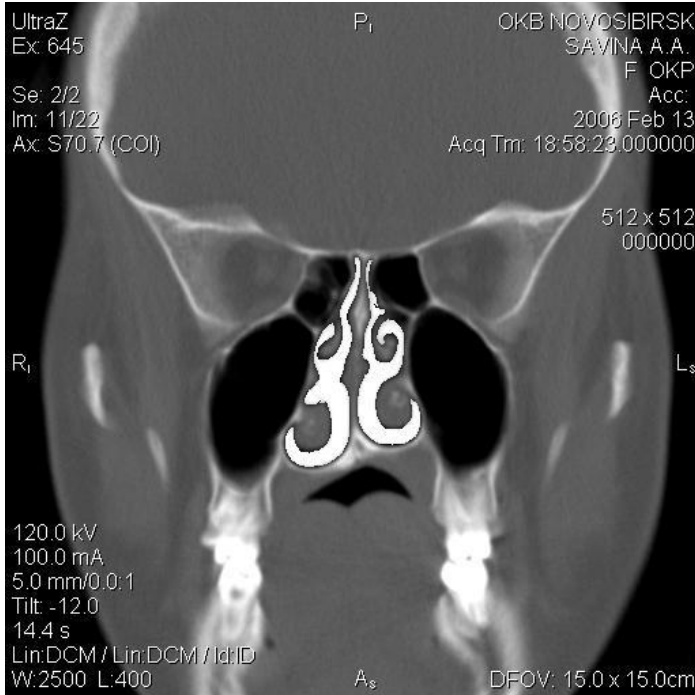


Серия томограмм в коронарных сечениях

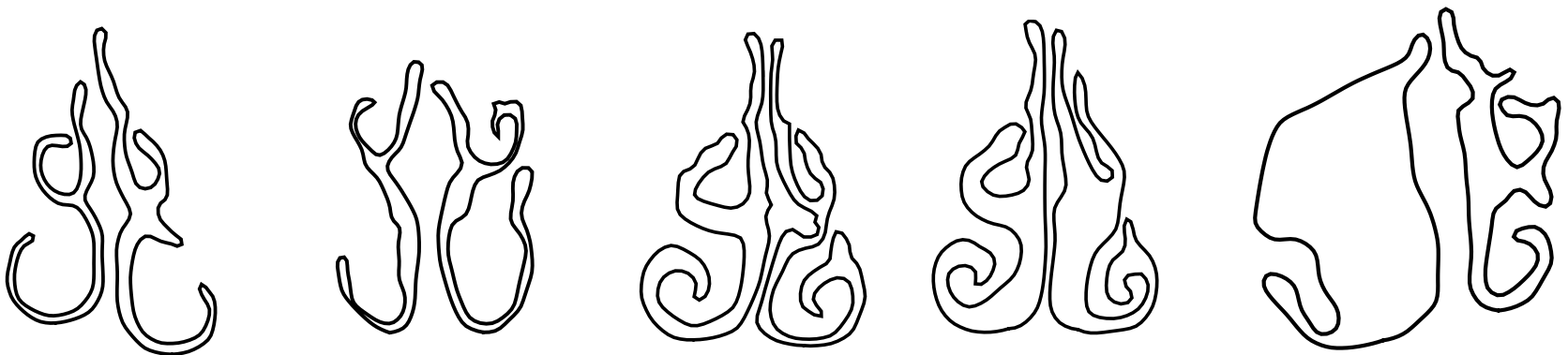


Размер шага
 $d = 1 \div 5 \text{ мм}$

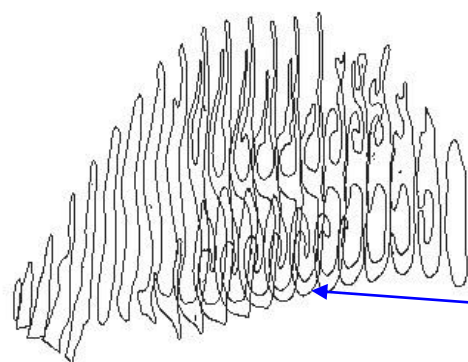
Объект моделирования



Характерные коронарные сечения носовой полости различных пациентов



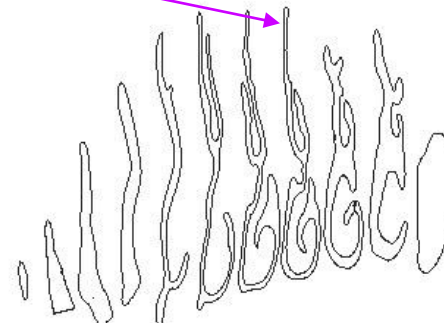
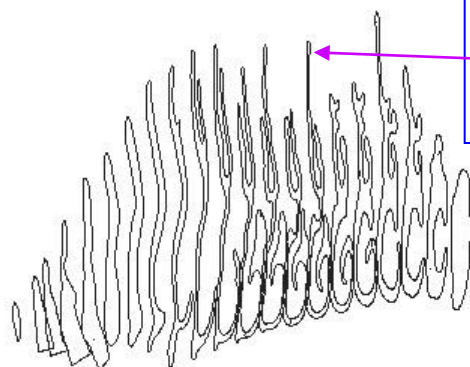
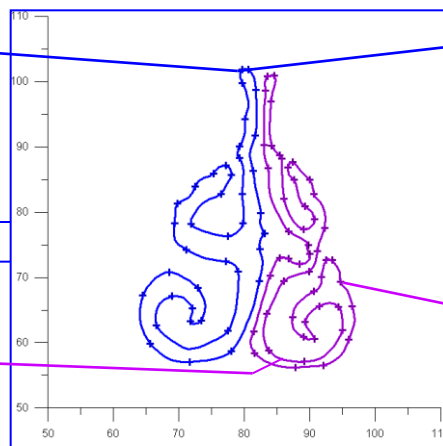
каркасная модель левого носового тракта



Y
 $X-Z$

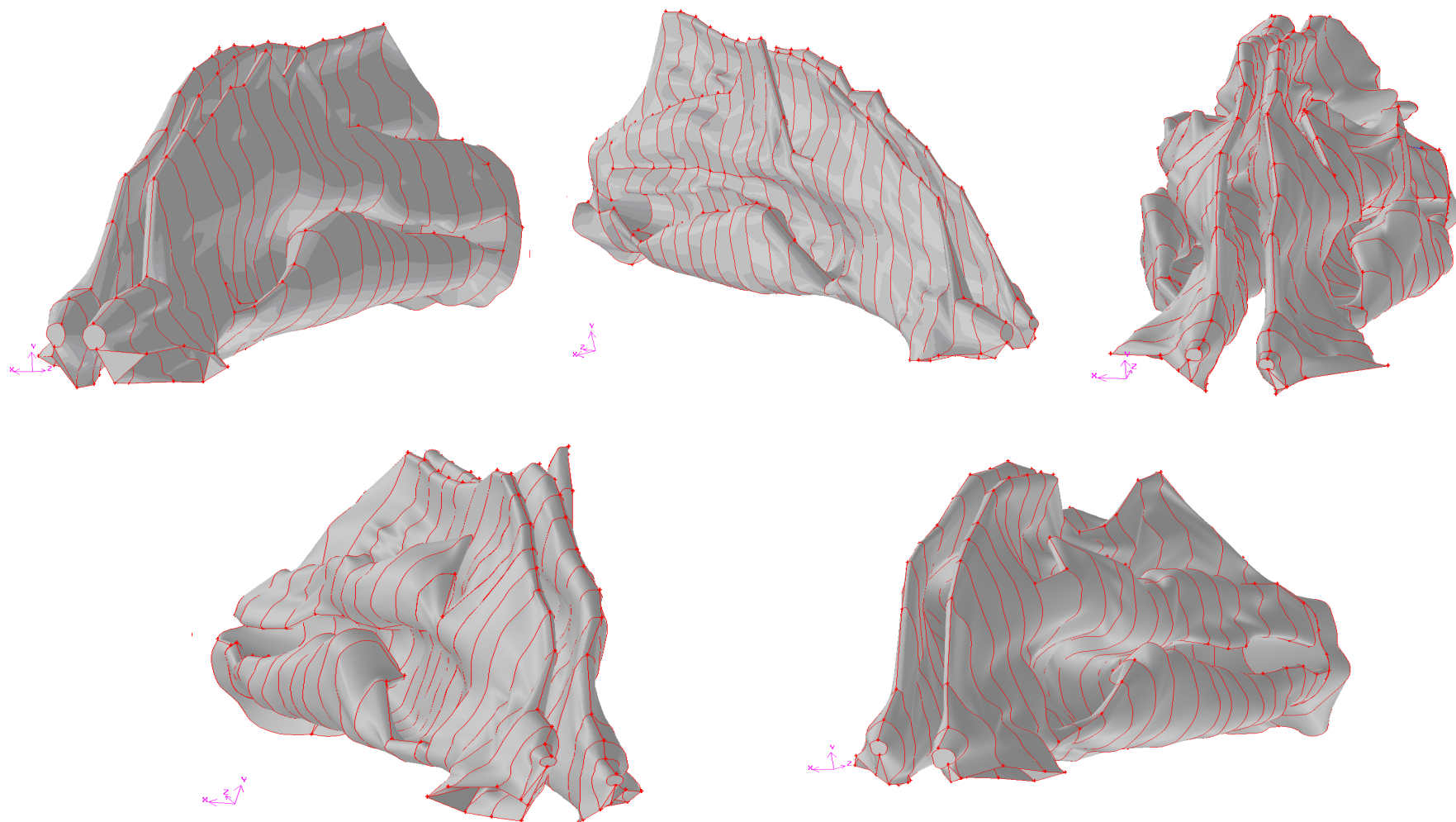
$d = 4 \text{ мм}$

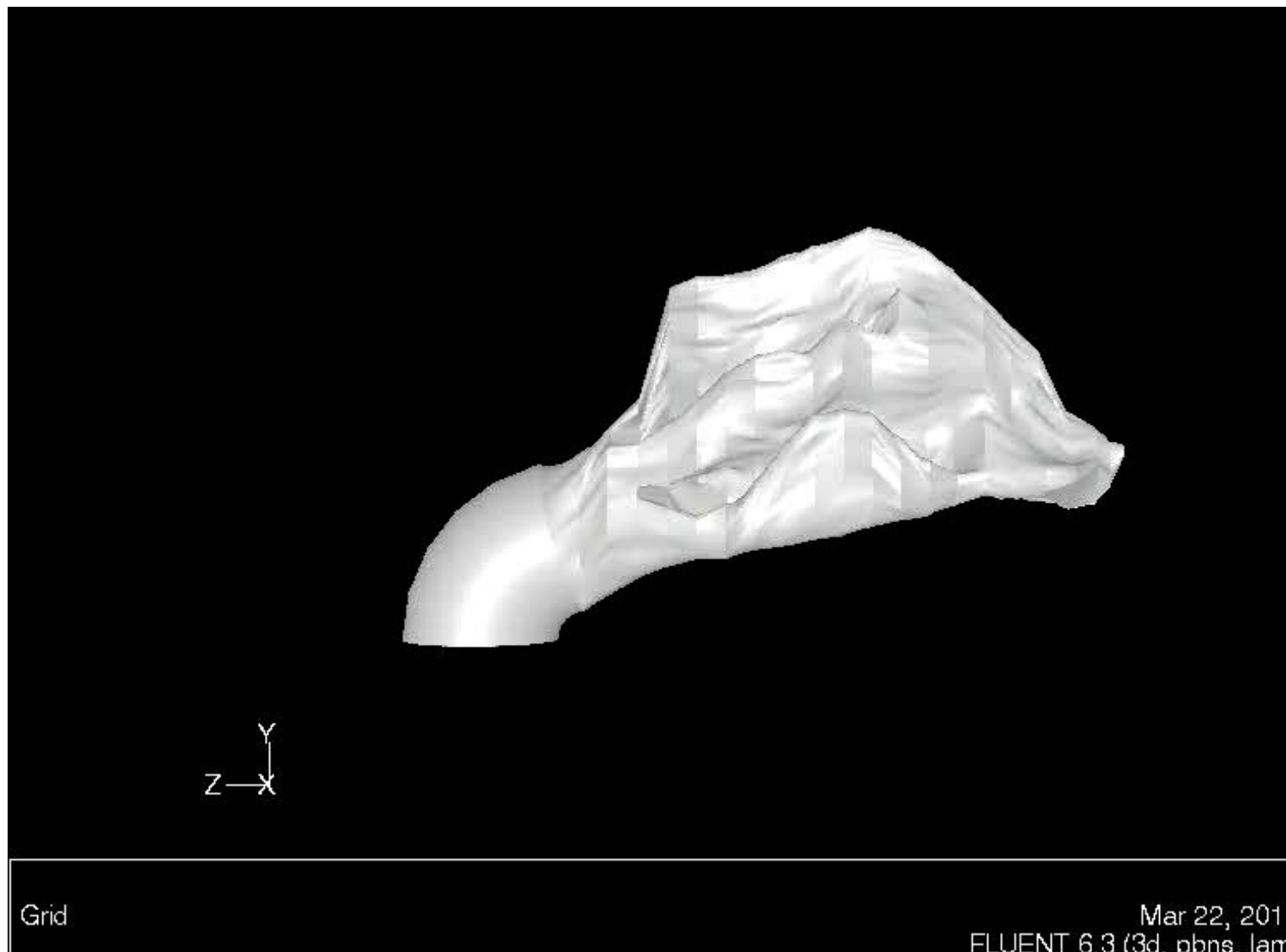
каждое второе сечение



Y
 $X-Z$

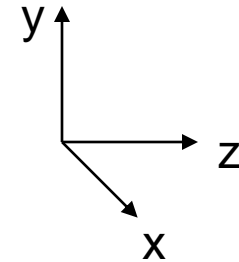
каркасная модель правого носового тракта





Используются стандартный пакет Grapher, коммерческий пакет “FLUENT” с геометрическим препроцессором “Gambit”.

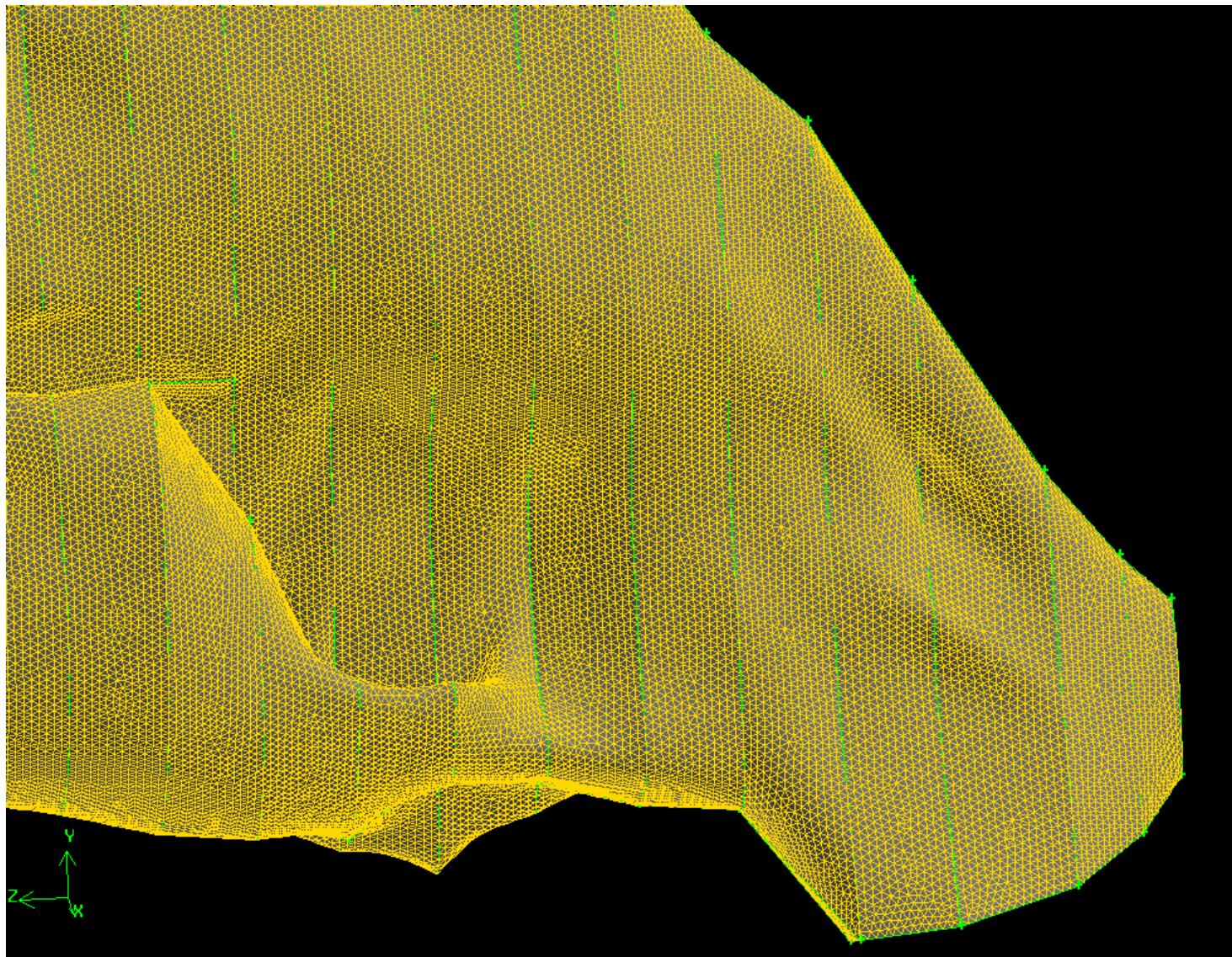
1. Уравнения Навье-Стокса
2. $k-\omega$ модель турбулентности
3. Условия прилипания и изотермичности на стенке
4. В выходном сечении задается перепад давления ΔP между входом и выходом: $\Delta P < 0$ для вдоха, $\Delta P > 0$ для выдоха



Вычислительная сетка: $\sim 1.5 \div 3,5 \times 10^6$ объемных ячеек.

Метод установления.

Расчет проводится до тех пор, пока значения искомых переменных во всех точках не совпадут с точностью до четвертого знака.





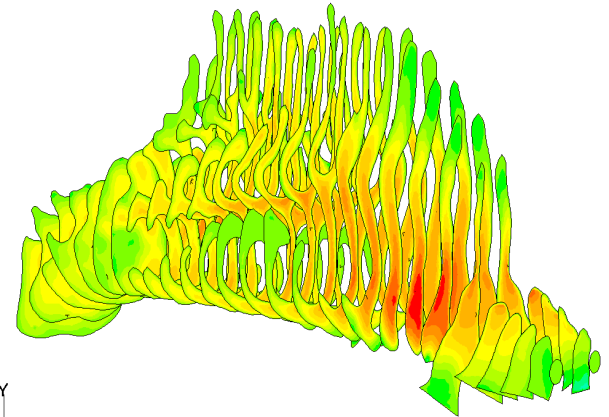
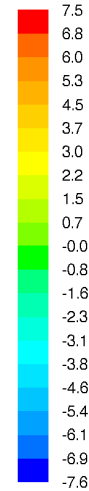
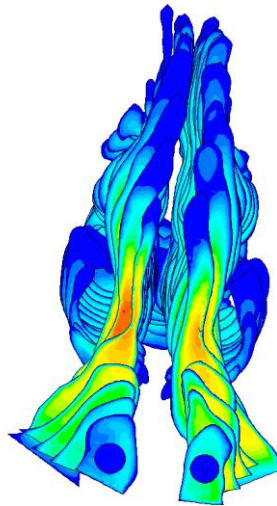
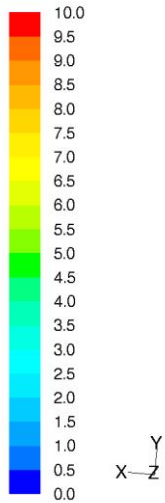
- Создана математическая технология для построения геометрии тракта человеческого носа на основе томографических данных.
- Сложность предмета рассмотрения требует индивидуального подхода для каждого конкретного случая.
- Расчеты течения выполнены для 15 моделей носовой полости.

$dP=75 \text{ Па}$

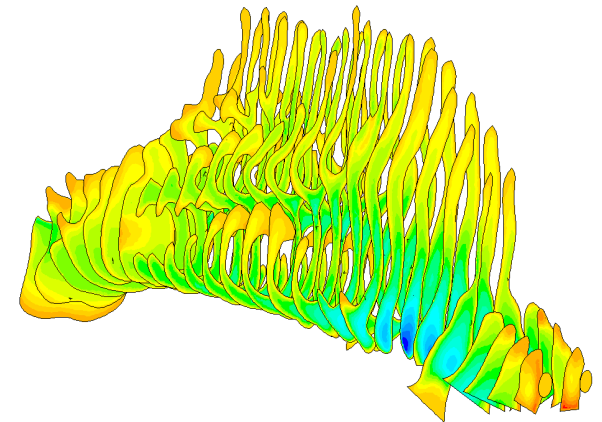
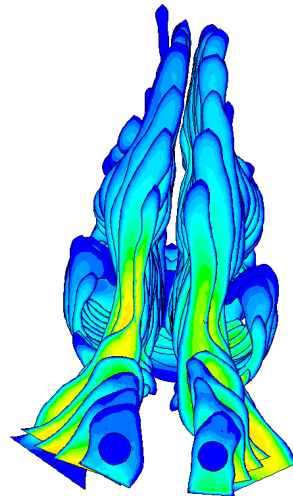
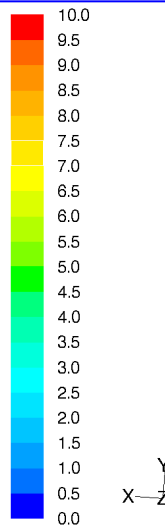
Abs(V)

Vz

ВДОХ



ВЫДОХ

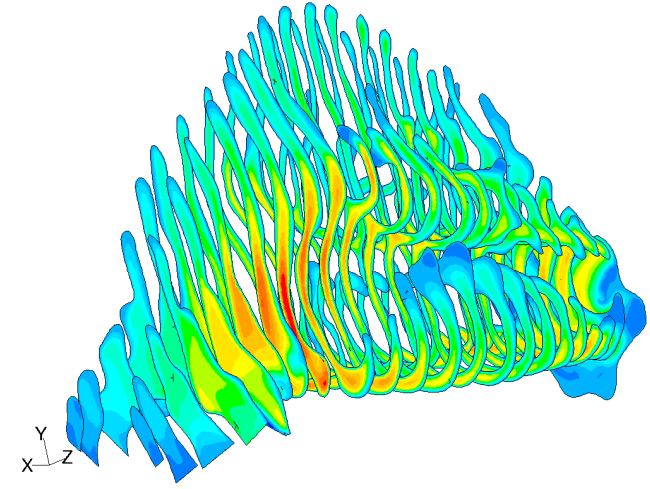
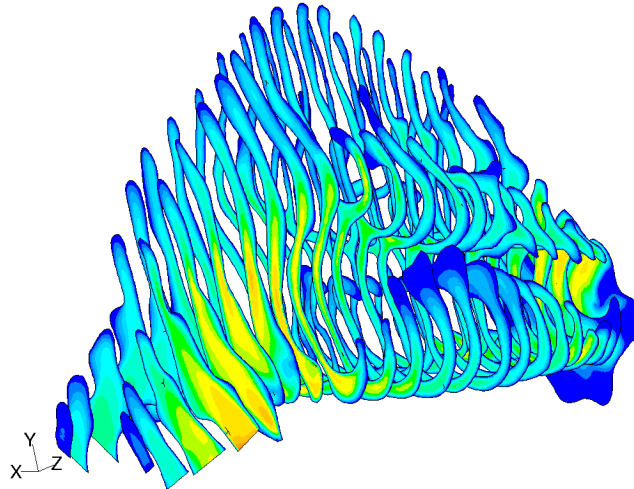


dP=10 Па

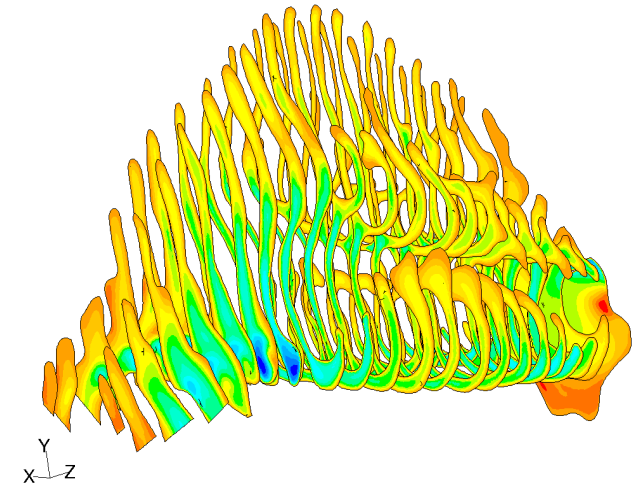
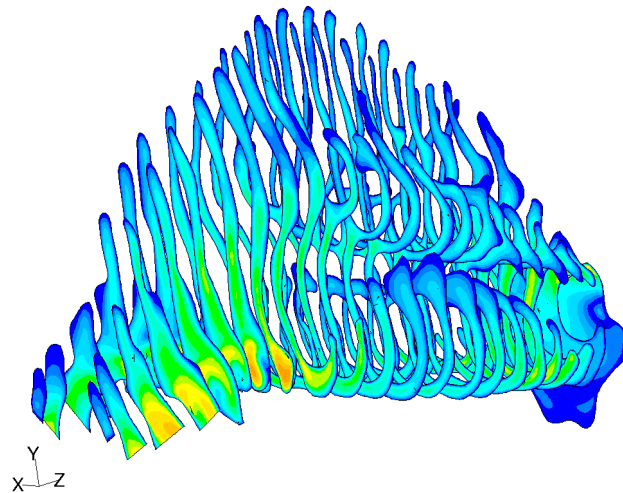
Abs(V)

Vz

ВДОХ

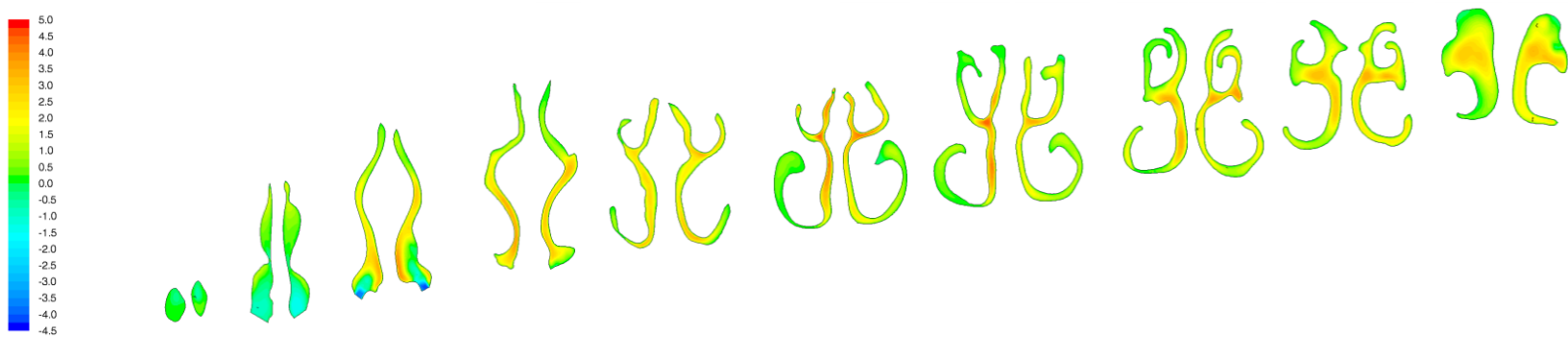
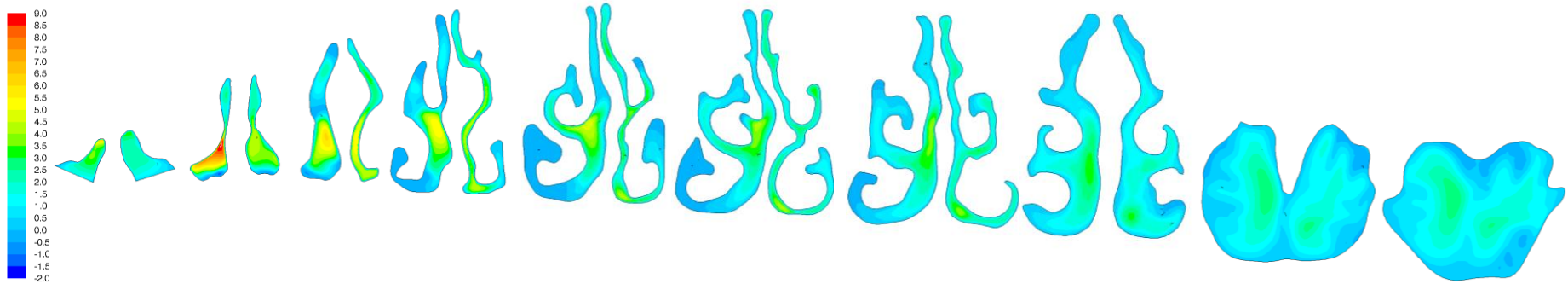
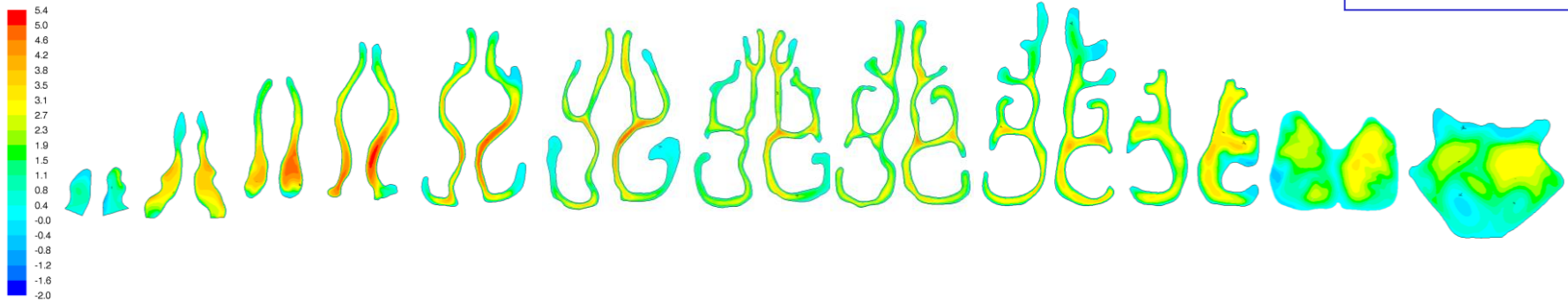


ВЫДОХ



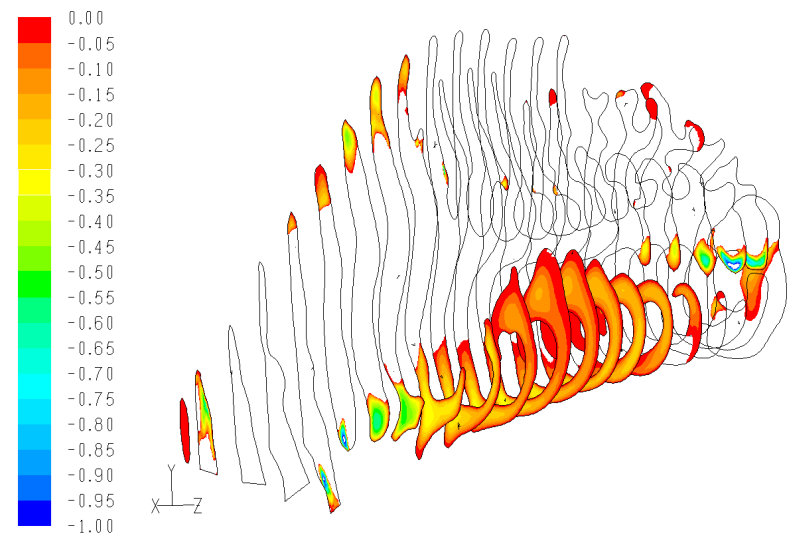
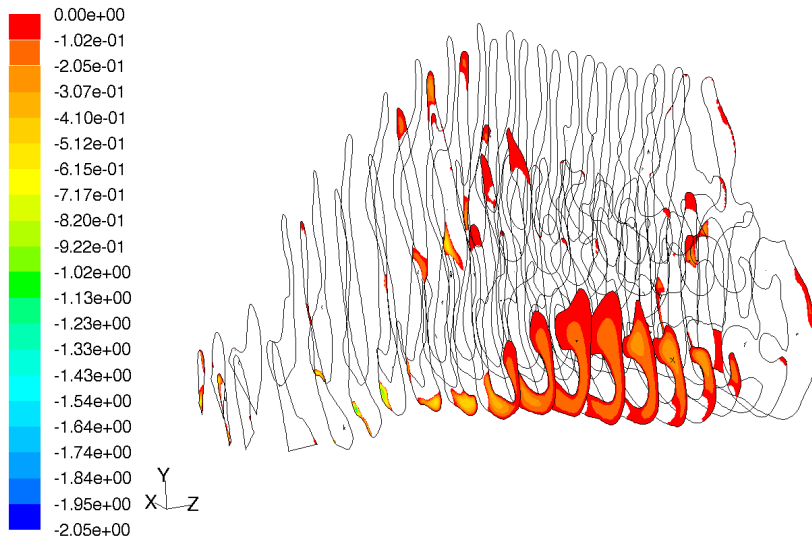
V_z

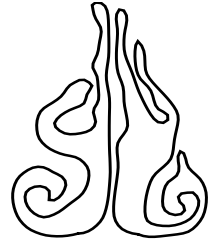
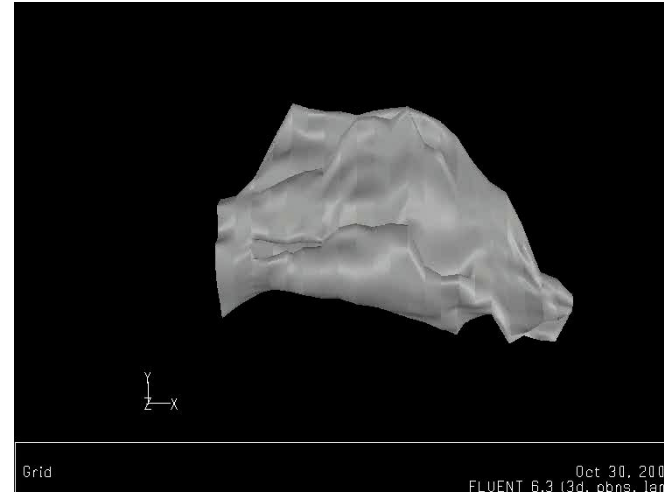
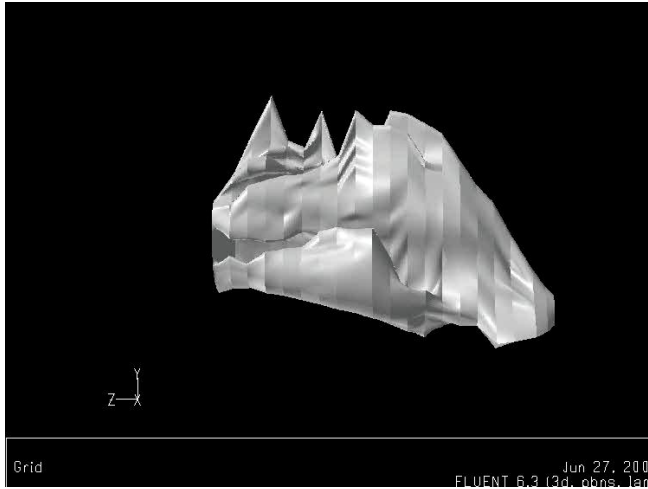
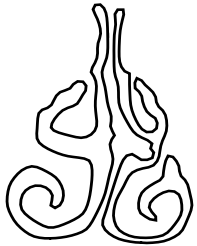
$dP=50 \text{ Па}$



$dP=50 \text{ Па}$

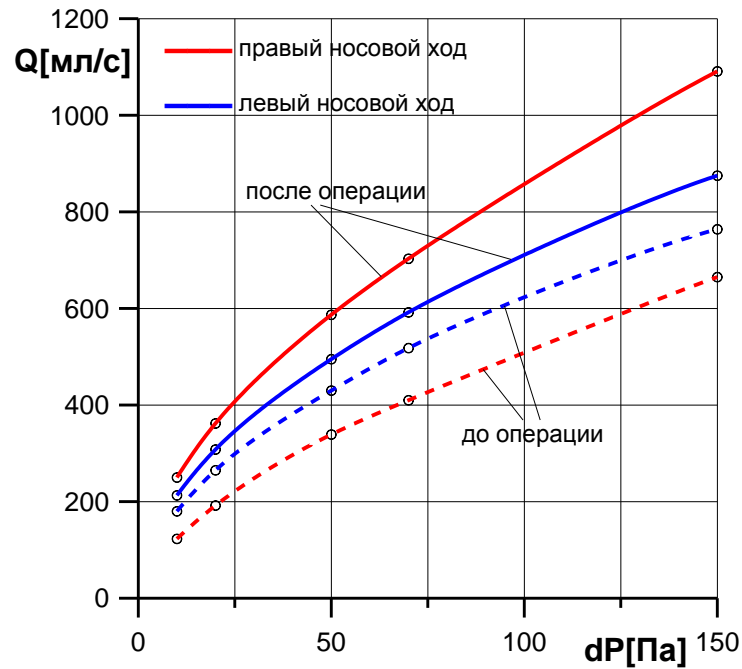
V_z (только отрицательные значения)





до операции

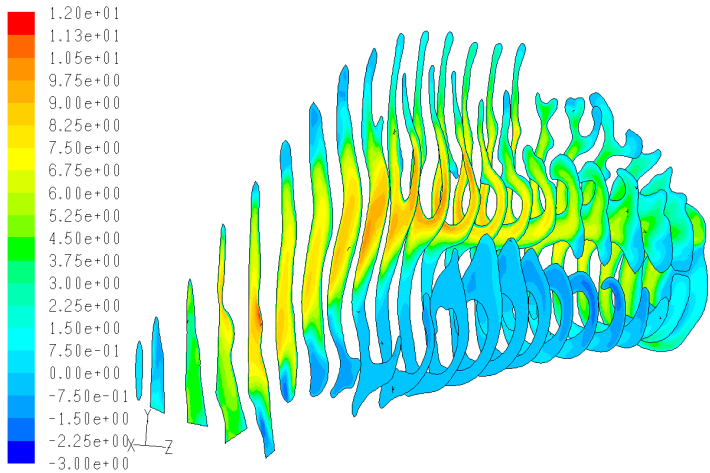
после операции



I. Результаты расчетов

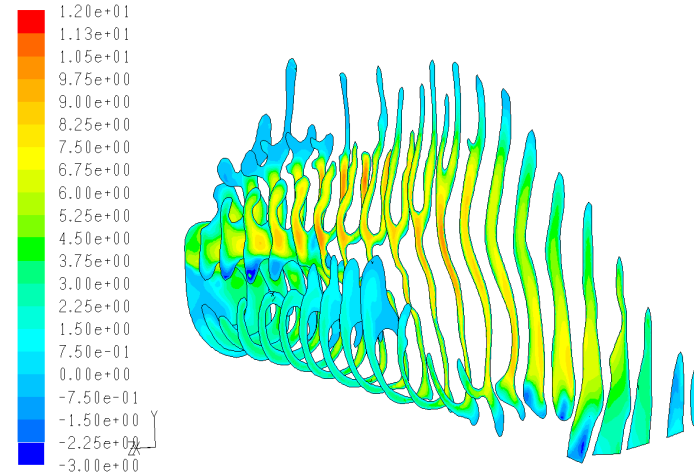
Поле скоростей до операции ($dP=150$ Па)

левый канал

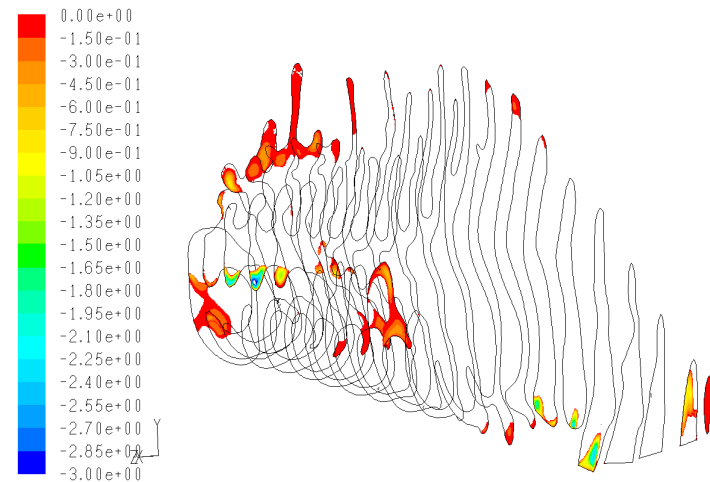
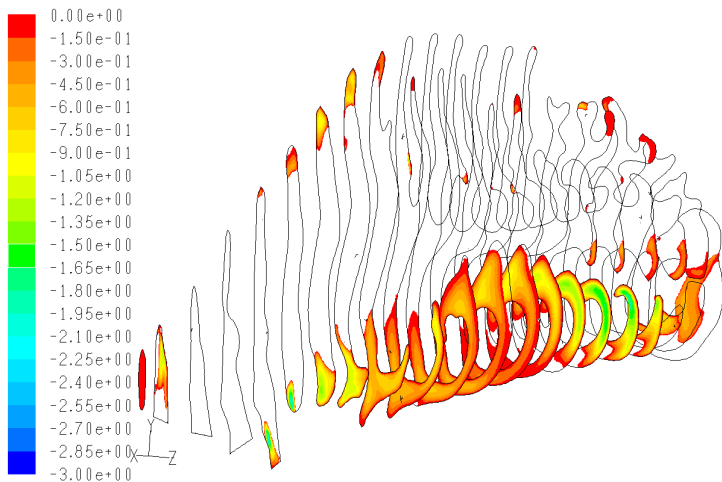


V_z

правый канал



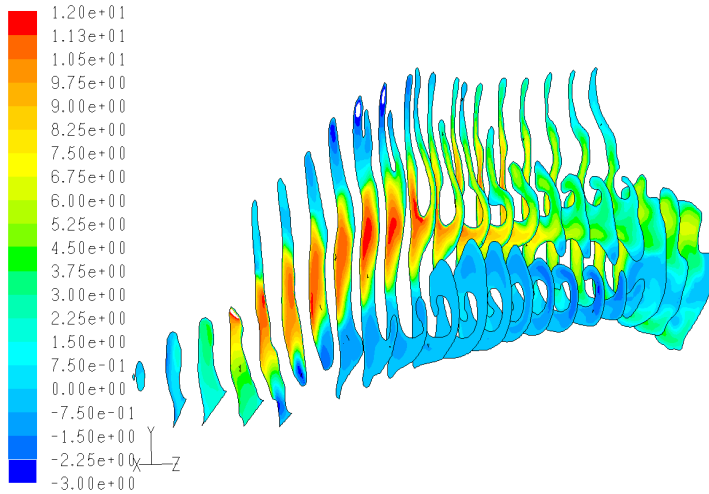
V_z (только отрицательные значения)



I. Результаты расчетов

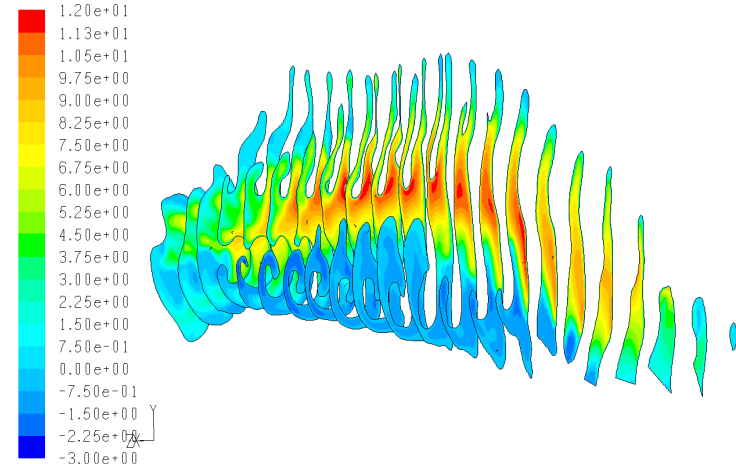
Поле скоростей после операции ($dP=150$ Па)

левый канал

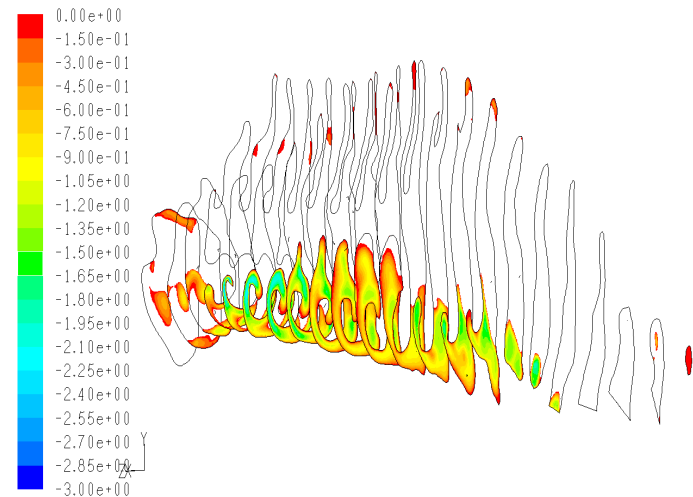
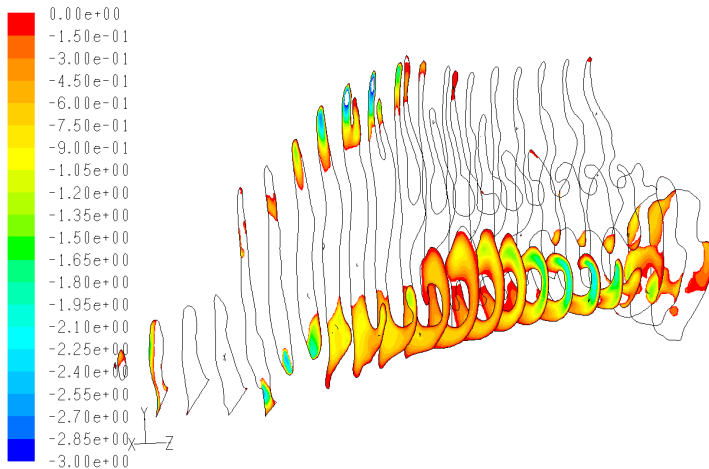


Vz

правый канал



Vz (только отрицательные значения)



I. Результаты расчетов

До операции

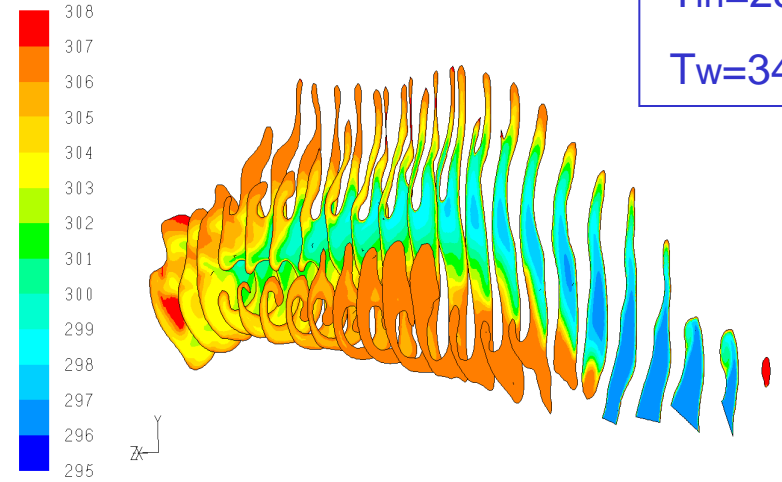
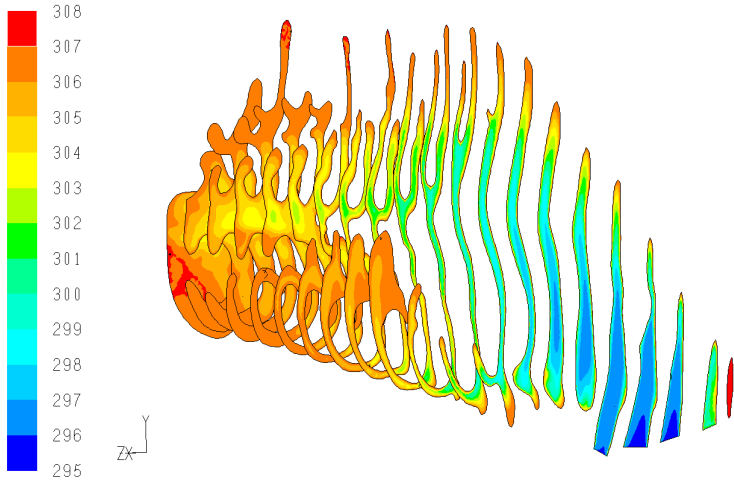
Поле температуры в правой носовой полости

После операции

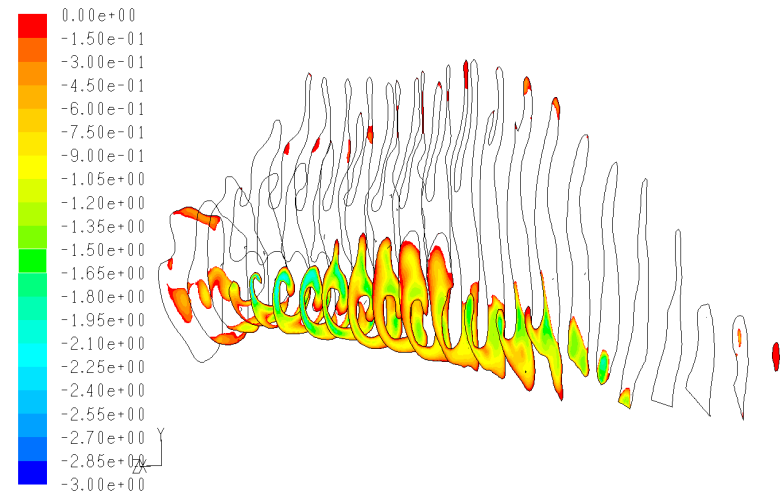
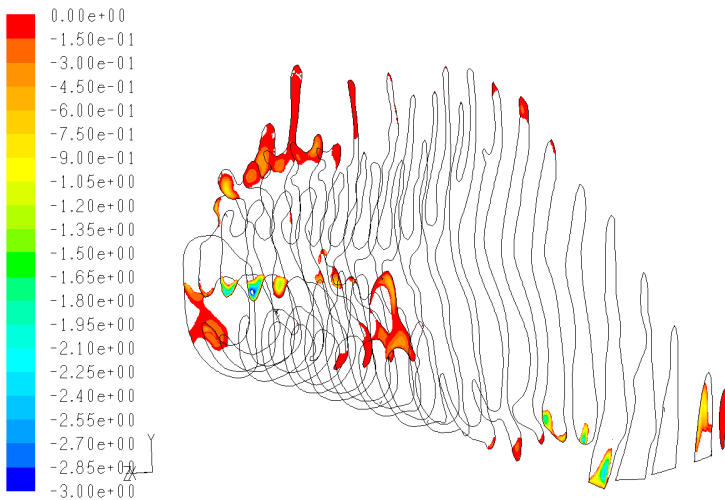
$dP=150$ Па

$T_{in}=23^{\circ}C$

$T_w=34^{\circ}C$



V_z (только отрицательные значения)

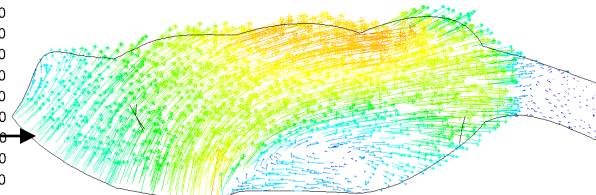
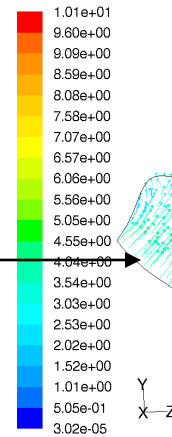
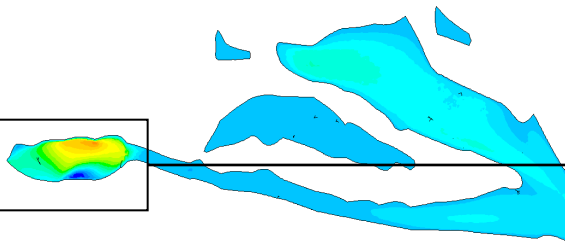
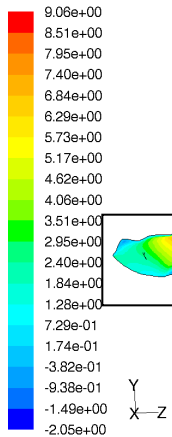
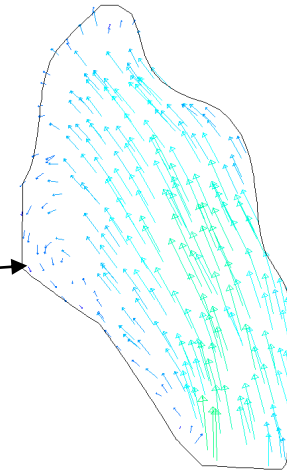
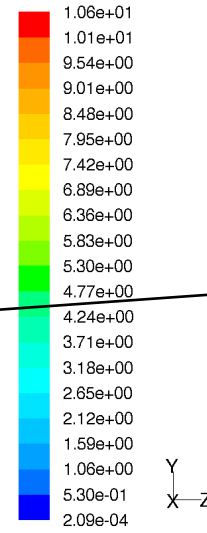
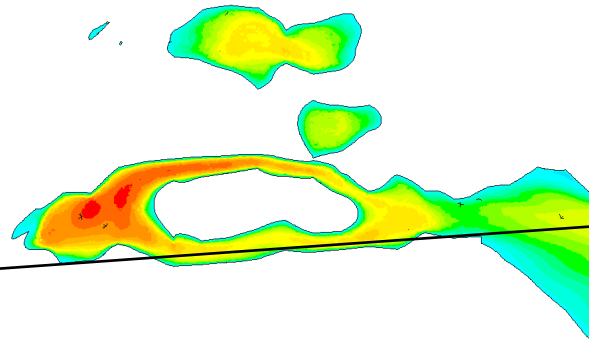
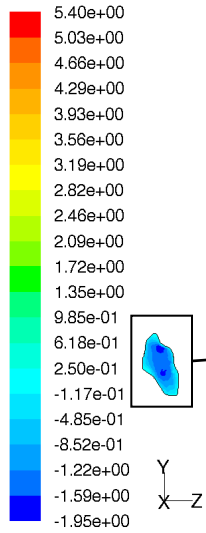




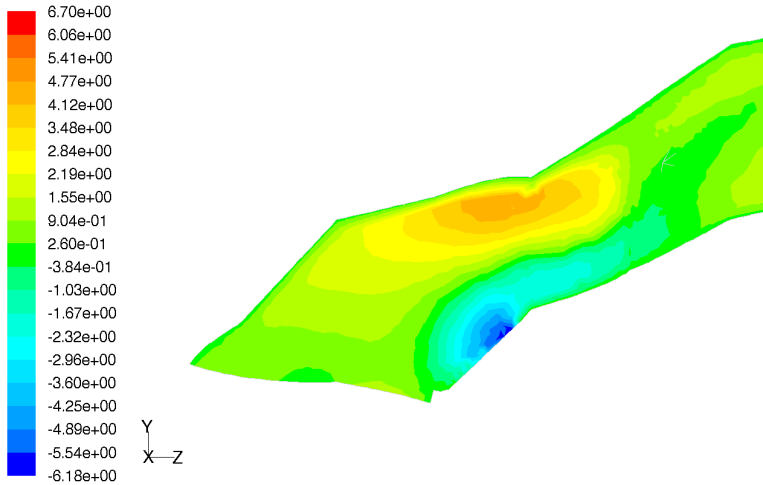
- При широком основном носовом канале слабое возвратное течение в нижней боковой части носовой полости, не препятствуя дыхательной функции, вероятно, играет позитивную роль, заключающуюся в прогреве вдыхаемого воздуха.

V_z

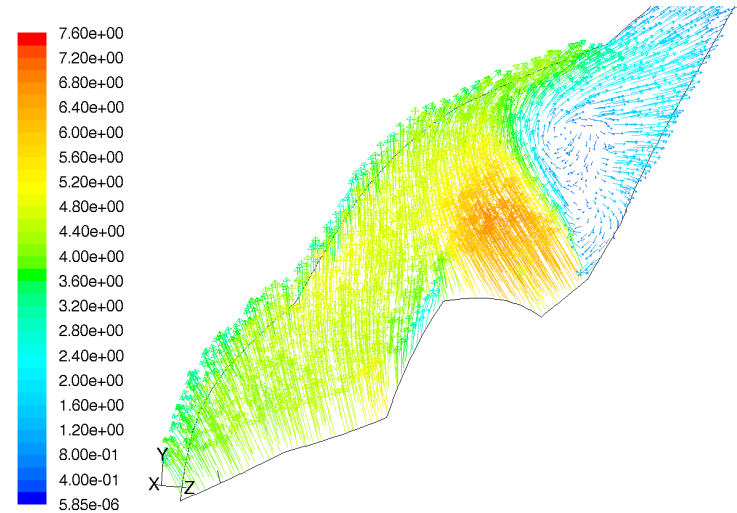
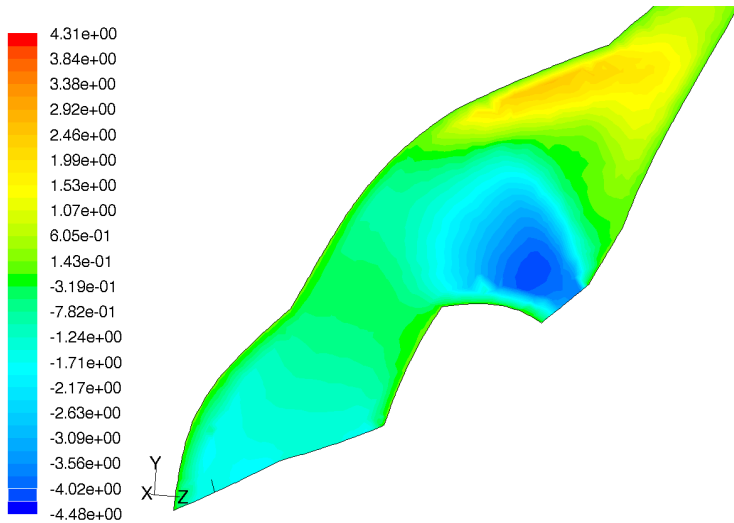
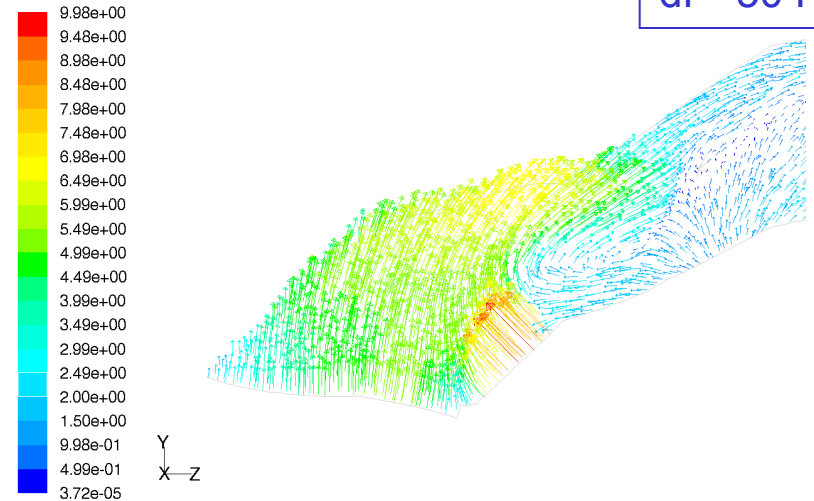
$dP=50 \text{ Па}$



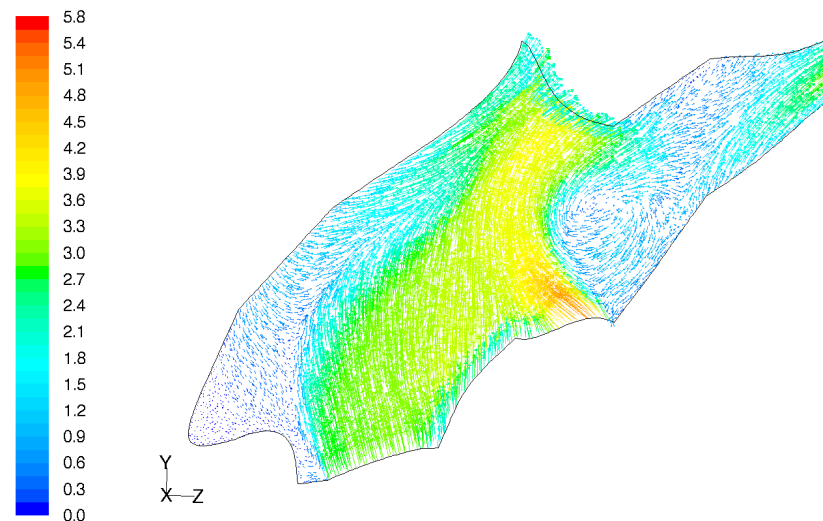
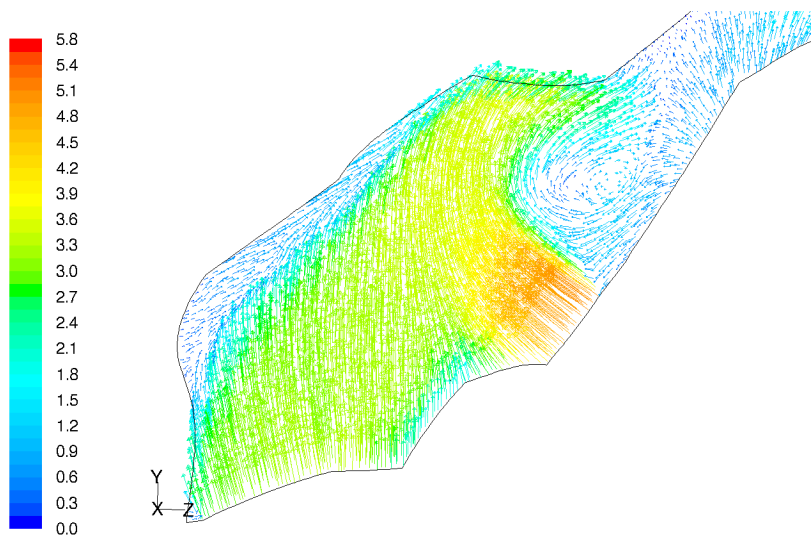
V_z



$dP=50$ Па



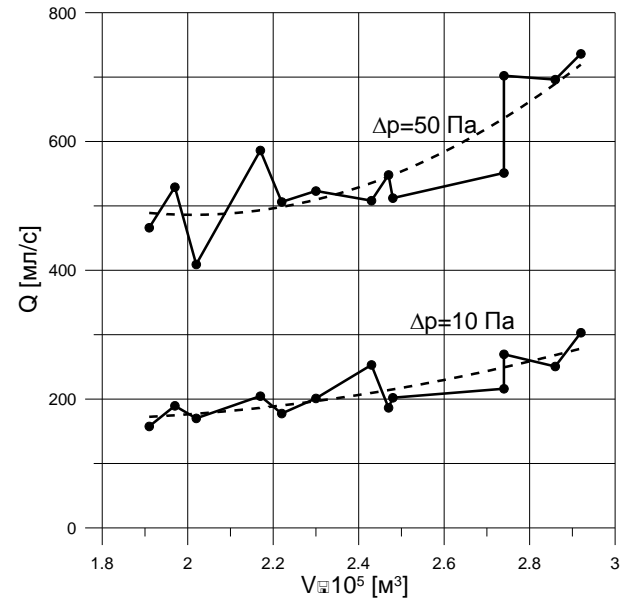
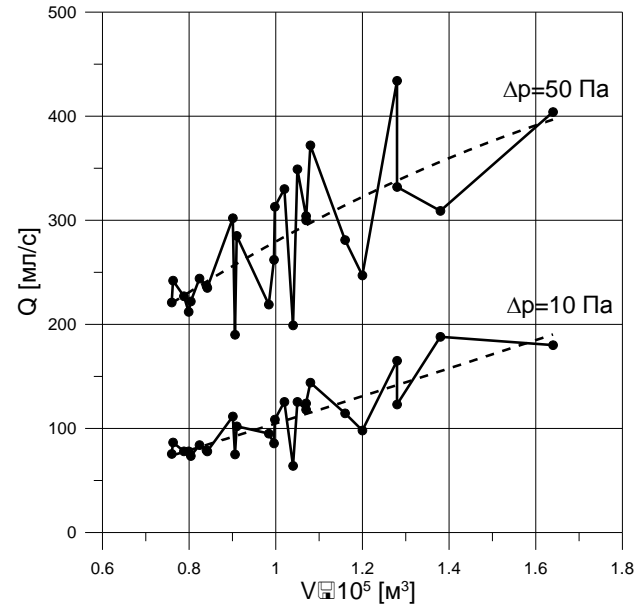
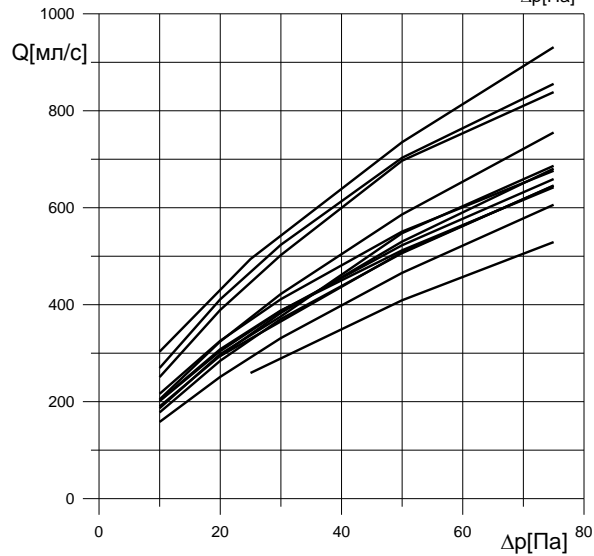
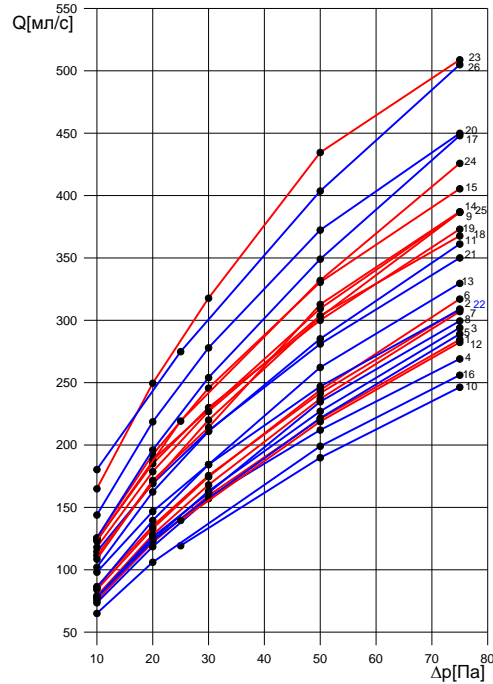
$dP=50$ Па





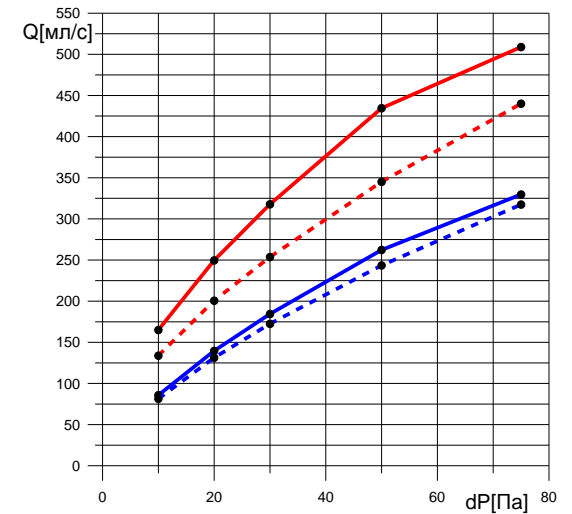
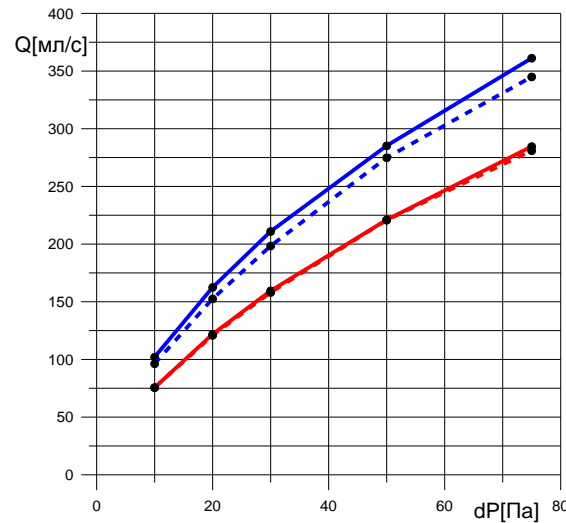
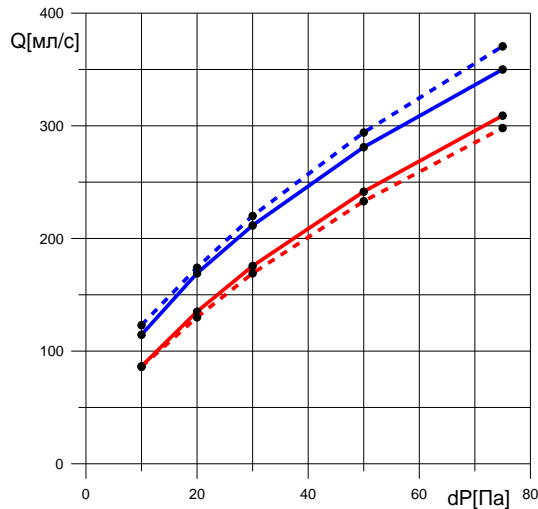
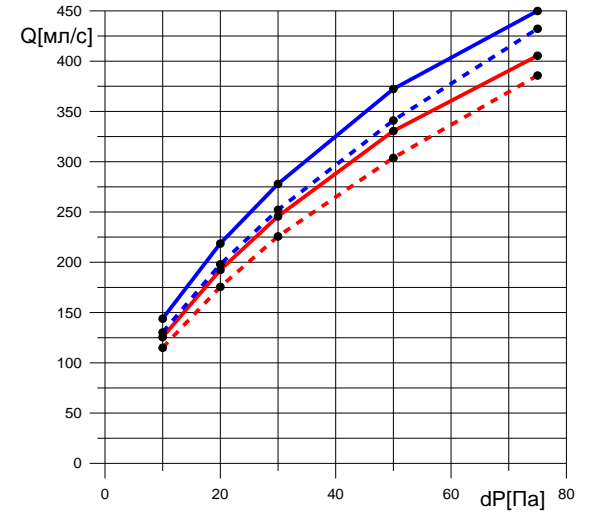
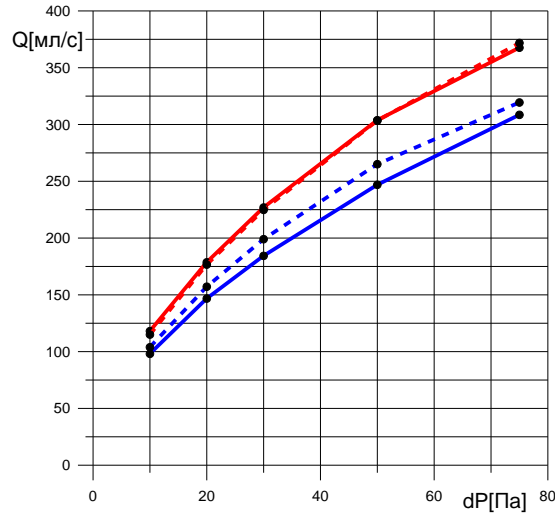
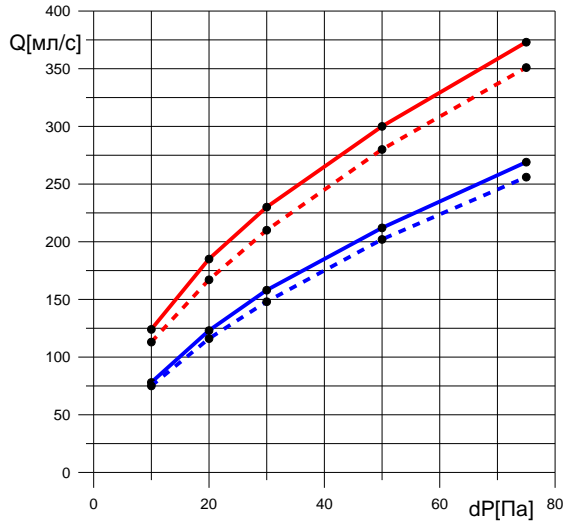
- Геометрическое строение входного участка носа играет защитную роль, способствуя образованию вихрей, в которых воздух нагревается и частично очищается

III. Результаты расчетов



III. Результаты расчетов

	ВДОХ	ВЫДОХ
правая половина носовой полости		
левая половина		





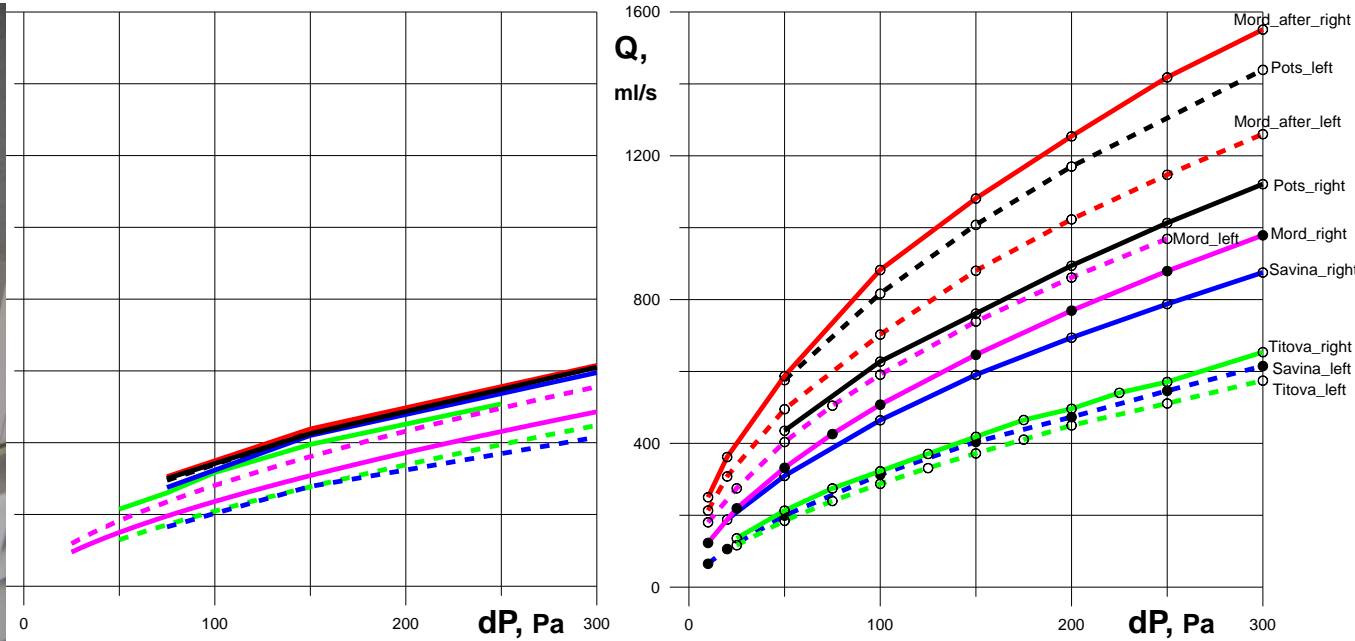
- Наблюдается тенденция увеличения объемного расхода воздуха через носовую полость при увеличении объема носовой полости, при увеличении площади внутренней поверхности носа и при росте величины комбинации объем/площадь. Строгой зависимости нет. Наименьший разброс в величине расхода относительно среднего значения наблюдается в зависимости «расход – объем». Разброс для объединенной носовой полости меньше, чем для половины.
- Расход, как правило, имеет бóльшую величину при вдохе, чем при выдохе, но бывает и наоборот. Зависимости для вдоха и выдоха, как правило, лежат близко к друг к другу, иногда практически совпадают, но встречается и большое различие.

Спасибо за внимание !

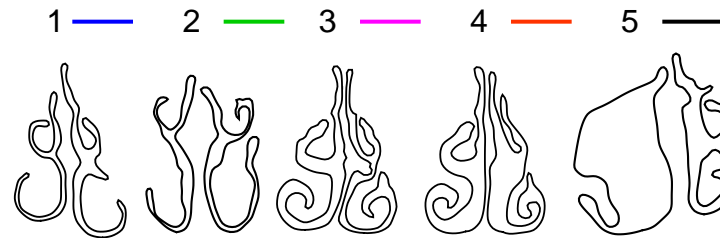
Сравнение с «экспериментом»

Метод передней активной риноманометрии (ПАР)

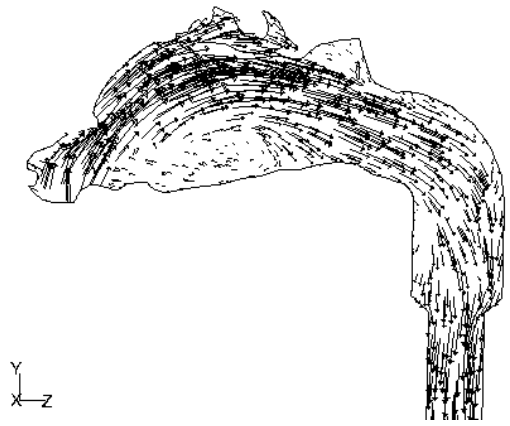
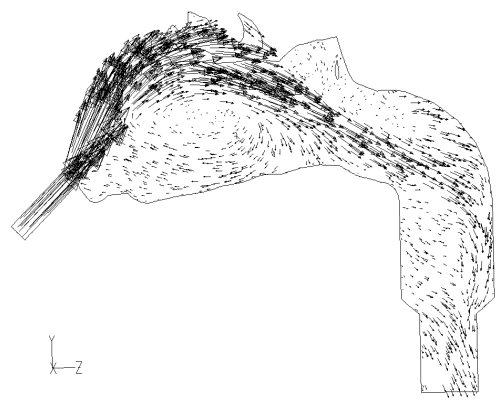
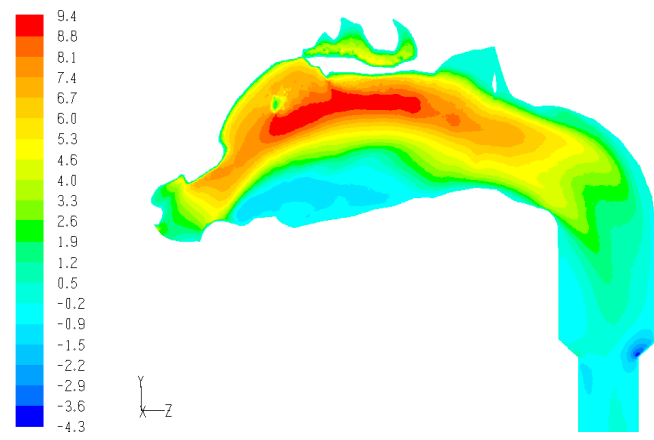
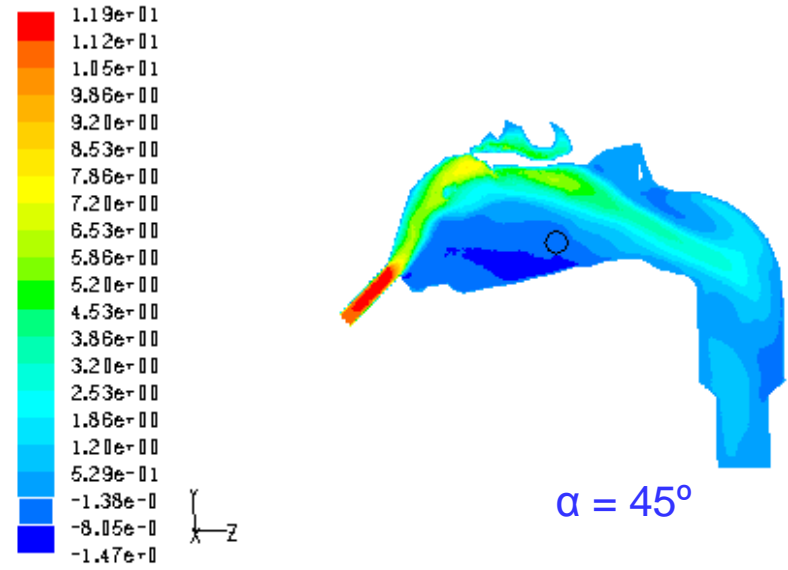
Расчеты



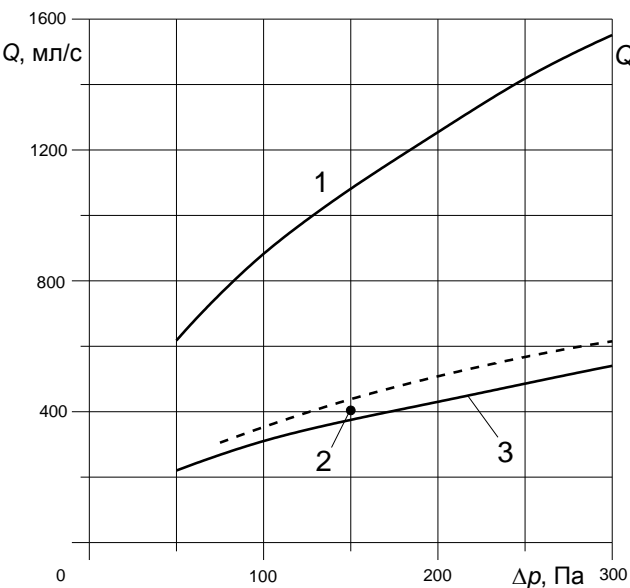
Варианты



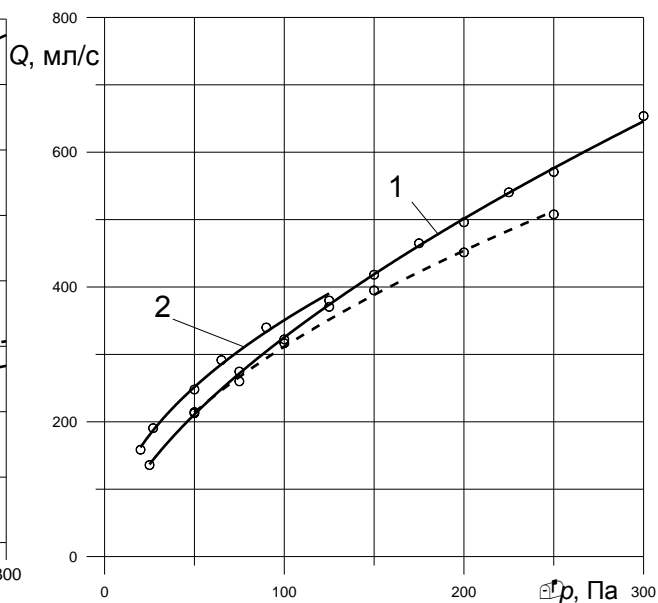
Вариант 4, правая полость



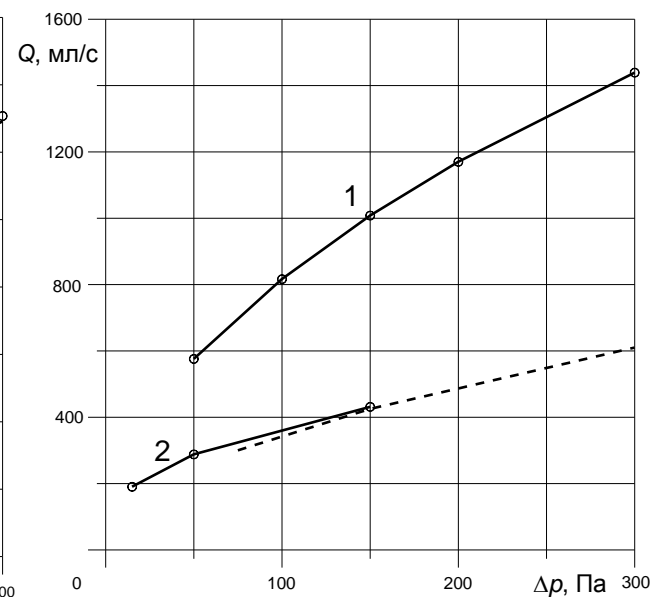
Вариант 4, правая полость



Вариант 2, правая полость

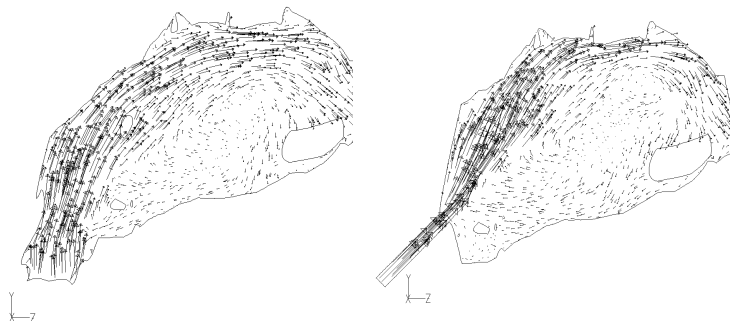


Вариант 5, левая полость



Пунктир – показания риноманометра.

Сплошные линии – расчеты: 1 – естественный вдох; 2, 3 – имитация ПАР.





- Вычислительный эксперимент показал, что данные ПАР дают только косвенную информацию о возможностях транспортной функции носа, существенно занижая реальное значение расхода воздуха через нос. Объясняется это тем, что при выполнении процедуры ПАР:
 - 1) площадь входного сечения адаптера в несколько раз меньше площади входного сечения ноздри,
 - 2) течение в носовых полостях имеет струйный характер.
- При обычных условиях дыхания перепад давления в носовой полости человека значительно отличается в меньшую сторону от стандартных значений, являющихся опорными в методике ПАР. И чем шире и объемнее носовая полость, тем это отличие больше.