

V Региональная конференция по научно-техническому творчеству
школьников «Лабиринты науки»

Секция физика и компьютерные технологии

Аэродинамика сверхзвукового самолета

Работа выполнена – ученицей 11 класса МОУ
СОШ №30 г. Рыбинска Троицкой Екатериной
Вячеславовной

Научные руководители

- заведующий кафедрой общей и технической
физики РГАТУ, кандидат технических наук
Веретенников Сергей Владимирович,
- учитель физики сош № 30 г. Рыбинска
Большакова Любовь Александровна

Оглавление

Введение.....	3
Глава 1. Теоретическая часть	
1.1. Понятие об аэродинамике	4
1.2. Разница между дозвуковым и сверхзвуковым самолетами.....	4
1.3. Сравнительная характеристика Ту-144 и Конкорда.....	5
Глава 2. Практическая часть.....	
2.1. Материалы и методы.....	5
2.2. Создание модели.....	6
2.3. Создание сетки.....	6
2.4. Исследование аэродинамики на дозвуковой скорости.....	7
2.5. Исследование аэродинамики на звуковой скорости.....	8
2.6. Исследование аэродинамики на сверхзвуковой скорости.....	8
Заключение	9
Источники информации.....	10
Приложение.....	
Приложение 1.....	11
Приложение 2.....	13
Приложение 3.....	16
Приложение 4.....	17
Приложение 5.....	19

Введение

Актуальность: актуальность задач сверхзвуковой аэродинамики будет сохраняться до тех пор, пока будет существовать необходимость в использовании летательных аппаратов, движущихся с большими скоростями в атмосфере Земли. Современное состояние аэродинамики больших скоростей характеризуется необходимостью учёта различных осложняющих факторов. К этим факторам могут быть отнесены: сложная форма головных частей; вибрация обтекаемых тел; наличие возмущений в набегающем потоке, например, ударных волн и локальных или обширных нагретых областей; реальные свойства воздуха в ударном слое. Наличие таких сложных физических процессов приводит к необходимости использования комплексного подхода, который с одной стороны опирается на физический эксперимент, а с другой стороны на соответствующие вычислительные модели.

Цель работы: изучить аэродинамику сверхзвукового самолета.

Задачи исследования:

- изучить характеристику Конкорда и Ту-444
- разработать компьютерную модель сверхзвукового самолета.
- выполнить компьютерное моделирование аэродинамики сверхзвукового самолета.
- проанализировать полученные результаты.

Гипотеза: мы предполагаем, что аэродинамика самолета при дозвуковой, звуковой и сверхзвуковой скоростях сильно отличаются друг от друга.

Методы:

- синтез и анализ литературы
- моделирование
- визуализация данных

Глава 1. Теоретическая часть

1.1. Понятие об аэродинамике

Аэродинамика – наука о движении воздуха и о механическом взаимодействии между воздушным потоком и обтекаемыми телами. Основная задача, решаемая аэродинамикой, состоит в определении сил и моментов, действующих на самолет и его части в тех или иных условиях полета. В зависимости от метода изучения аэродинамику делят на теоретическую и экспериментальную:

- В теоретической аэродинамике для изучения явлений используют средства математики. Сложные явления схематизируются и упрощаются.
- Экспериментальная аэродинамика изучает те же явления на основе наблюдений, натурных экспериментов или моделирования явлений в аэродинамических лабораториях.

Есть дозвуковые самолеты и сверхзвуковые:

- Дозвуковой самолет – это летательный аппарат с максимальной скоростью меньше скорости звука.
- Сверхзвуковой самолет – самолёт, который способен совершать полёт со скоростью, превышающей скорость звука в воздухе.

Скорость тоже делится на несколько видов: дозвуковая – скорость, которая меньше скорости звука; звуковая - скорость, которая равна скорости звука; сверхзвуковая - скорость, которая больше скорости звука.

Когда самолет летит, то на него действуют несколько сил: сила тяги, подъемная сила, сила сопротивления (или сила лобового сопротивления), сила тяжести самолета, сила сопротивления трению, полное аэродинамическое сопротивление.

1.2. Разница между дозвуковым и сверхзвуковым самолетами

Основное отличие дозвукового и сверхзвукового самолета заключается в образовании скачка уплотнения перед носом самолета. Из-за этого скачка уплотнения нос самолета и крылья делаются заостренными.

Различие обликов дозвуковых и сверхзвуковых летательных аппаратов связано не только с отличиями природы до- и сверхзвуковых течений газов, но также с количеством и разнообразием режимов полета аппарата, диапазонами изменения условий функционирования. Эти диапазоны шире для сверхзвуковых аппаратов, что естественно, так как прежде, чем достигнуть основного сверхзвукового режима полета, они неизбежно должны пройти стадии дозвукового полета.

Таким образом, замысел облика нового летательного аппарата должен учитывать все аспекты его функционирования. Для проектирования сверхзвуковых самолетов может быть в максимальной степени характерно большое количество ограничений и требований, которые решающим образом определяют их облик.

1.3. Сравнительная характеристика Ту-444 и Конкорда

Ту-444 — отменённый проект российского сверхзвукового пассажирского самолёта деловой авиации разработки ОАО «Туполев». Пришёл на смену проекту Ту-344. Разработке предшествовали просчет наиболее выгодных технических характеристик для самолета такого класса. Установлено, что дальности в 7500 километров хватает для покрытия основных деловых центров мира. Первый полет, по плану, должен был состояться в 2015. Несмотря на проработку к 2008 году эскизного проекта, проект «заглох».

Сравнивая характеристики Ту-444 и Конкорда по таблице (Приложение 1 табл.1), не стоит сразу думать, что российский самолет хуже англо-французского. Пассажировместимость меньше, так как размеры самолета меньше, чем у Конкорда. А сделано это было специально, так как самолет планировался не для общего использования. Уменьшение размеров позволило увеличить практическую дальность.

Глава 2. Практическая часть

2.1. Материалы и методы

Модель самолёта мы создавали в такой программе, как КОМПАС-3D.

Для того, чтобы посмотреть на аэродинамику сделанной модели самолета, мы использовали программу Ansys Fluent. Ansys Fluent — многофункциональный программный продукт для моделирования ламинарного и турбулентного течения ньютоновских и неньютоновских сред, как однофазных, так и многофазных потоков, как на дозвуковых, так и на сверхзвуковых режимах.

Для того, чтобы посмотреть изменение сил, действующих на самолет во время полета, мы использовали программу Microsoft Excel.

2.2. Создание модели

Для проектирования модели самолета мы использовали картинку с размерами Ту-444 (Приложение 2 рис.1).

Создание модели мы начали с фюзеляжа самолёта (Приложение 2 рис. 2.). Используя картинку, мы обвели контур самолета. Затем в плоскостях, построенных перпендикулярно плоскости картинки, мы нарисовали окружности и по ним сделали выдавливание по сечениям.

В отдельном файле мы спроектировали крылья и хвост (Приложение 2 рис. 3). Крылья и хвост самолета также построены методом создания твердого тела по сечениям. Для каждого элемента создавались плоские промежуточные сечения его частей в виде профиля крыла или хвостового оперения. Для их создания использовался сплайн по точкам. Затем по полученным сечениям строилось твердое тело.

Затем всё это мы соединили и получили полноценный сверхзвуковой самолёт (Приложение 2 рис. 4.)

Следующим этапом было поместить модель в «трубу», чтобы изучить его аэродинамику. Мы создали цилиндр, который и был «трубой», а в него поместили модель самолета (Приложение 2 рис. 5.). Самолет можно увидеть в разрезе цилиндра (Приложение 2 рис.6).

2.3. Создание сетки

Далее мы использовали программу Ansys Fluent. Программа сразу предлагает план для построения сетки:

1. Импорт геометрической модели в сеткопостроитель.
2. Проверка и подготовка геометрии, разбивка поверхностей по отдельным зонам.
3. Настройка размера поверхностных элементов и создание поверхностной сетки.
4. Соотнесение поверхностей к определенному типу граничных условий.
5. Создание объемной сетки.

Следуя этому плану, мы получили сетку для изучения движения потока воздуха (Приложение 2 рис.7.)

2.4. Исследование аэродинамики на дозвуковой скорости

Исследование аэродинамики проводится так: задаются входные параметры, то есть скорость потока, температура воздуха, а дальше используя функцию «рассчитать» программа проводит расчеты.

Сначала мы ввели дозвуковую скорость, а именно 800 км/ч, то есть 222 м/с. Это обычная скорость, на которой летают пассажирские самолеты, поэтому мы выбрали именно её. Температуру мы поставили 273 К, то есть 0 °С. Скорость звука мы высчитали по формуле $a = \sqrt{kRT}$, где k и R – постоянные ($k=1,4$; $R=287$), T – температура (в Кельвинах). Скорость звука получилась 331,2 м/с, которая была постоянна, так как температуру мы не меняли.

Число Маха мы рассчитали по формуле $M = \frac{V}{a}$, где V – скорость потока, a – скорость звука. Число Маха показывает, насколько близко истинная скорость полета приблизилась к скорости звука. Оно получилось 0,67.

Когда все параметры были введены, то после нажатия на кнопку «рассчитать», программа начала производить расчеты полета. Их результатами было построение нескольких расчетных моделей.

Результат расчета скорости потока на дозвуковой скорости (Приложение 3 рис.1) показал, что скорость уменьшается на конце самолета, а вокруг остается неизменной. Также мы смогли увидеть линии потока (Приложение 3 рис.2, рис.3, рис.4). Они показывают, какой самолет оставляет «след» в воздухе. Мы

видим, что скорость потока постепенно увеличивается у фюзеляжа, а потом резко увеличивается. Важно учитывать сохранение полной энергии потока. Лучше всего, когда потери энергии минимальны. На расчетной модели видно, что вокруг, то есть, где красный цвет, энергия сохраняется, а чем ближе к центру, тем больше энергии потратилось (Приложение 3 рис.5). Кроме того, мы рассчитали с помощью программы различные силы, действующие на самолет (Приложение 1 табл.3).

2.5. Исследование аэродинамики на звуковой скорости

Используя формулу для расчета числа Маха, мы нашли нужную нам скорость, выбрав число Маха равное 1. Скорость получилась 331,2 м/с (Приложение 1 табл.2). Мы ввели эту скорость, и программа выполнила расчеты. Их результаты мы показали на нескольких расчетных моделях.

Результат расчета скорости потока на звуковой скорости показал, что происходят «скачки» (Приложение 4 рис.1). У носа и на конце самолета скорость уменьшается, а ближе к хвосту наоборот увеличивается. Линии потока показали, что скорость увеличивается, но не до максимального значения (Приложение 4 рис.2, рис.3, рис.4). Рассмотрим расчетную модель, показывающую сохранение энергии потока (Приложение 4 рис.5). Мы видим, что потери стали больше, так как появилось больше желтого цвета. Также мы рассчитали с помощью программы различные силы, действующие на самолет (Приложение 1 табл.3).

2.6. Исследование аэродинамики на сверхзвуковой скорости

Используя формулу для расчета числа Маха, мы нашли нужную нам скорость, выбрав число Маха равное 1,5. Скорость получилась 496,8 м/с (Приложение 1 табл.2). Мы ввели эту скорость, и программа произвела расчеты. Их результаты можно увидеть на нескольких расчетных моделях.

Результат расчета скорости потока на сверхзвуковой скорости только выглядел также, как и результат расчета скорости потока на дозвуковой скорости (Приложение 5 рис.1). Значение скорости было выше, чем на дозвуковой. Аналогично, значение скорости линий потока было гораздо выше,

чем у дозвуковых и звуковых скоростей (Приложение 5 рис.2, рис.3, рис.4). Рассмотрим расчетную модель, с помощью которой можно определить сохранение энергии потока (Приложение 4 рис.5). Мы видим, что потери уменьшились, а это очень важно, так как чем меньше потери, тем лучше. Далее мы рассчитали с помощью программы различные силы, действующие на самолет (Приложение 1 табл.3).

Заключение

Для анализа действующих на самолет сил мы построили график в Microsoft Excel (Приложение 1 рис. 1). По оси Ox значения числа Маха, а по оси Oy – значения самих сил. Из графика видно, что подъемная сила сильно увеличивается; полное аэродинамическое сопротивление, лобовое сопротивление, сопротивление трению линейно возрастают. Также из графика можно увидеть, что подъемная сила при сверхзвуковой скорости гораздо больше других сил, действующих на самолет, чем при дозвуковой и сверхзвуковой скоростях. Это очень хорошо, так как это означает, что у самолета увеличивается скорость. Также график показывает, что наша модель самолета соответствует действительности, так как в реальности значения этих сил у сверхзвукового самолета отличаются от значений у дозвукового и звукового самолета.

Итак, мы изучили аэродинамику на трёх скоростях: дозвуковой, звуковой и сверхзвуковой. Наша гипотеза подтвердилась, так как аэродинамика самолета при каждой скорости отличается. Это видно из графика, который мы сделали на основе данных, полученных при составлении расчетных моделей.

Проект может быть применим в будущем, так как разработка сверхзвуковых пассажирских самолетов становится очень актуальна. Можно будет перемещаться на большие расстояния за малый промежуток времени. Модель самолета, которую мы сделали, можно изменить. Например, сделать другую форму крыла или же другой фюзеляж. Это будет уже новый самолет с другой аэродинамикой при разных скоростях. Рассчитав её, можно определить,

лучше данная модель самолета или же нет. И если лучше, то эта модель может быть востребована в отечественной авиации.

Источники информации

1. Определение аэродинамики
<http://taviak.ru/distance/Materials/162105/uchebnyye%20posobiya/Aerodinamika%20T.Demonova.pdf> (02.10.2023)
2. Виды аэродинамики
<http://taviak.ru/distance/Materials/162105/uchebnyye%20posobiya/Aerodinamika%20T.Demonova.pdf> (02.10.2023)
3. Силы, действующие на самолет во время полета
<https://vzletim.ru/upload/iblock/e28/aerodynamics02.pdf> (23.10.2023)
4. Разница между дозвуковым и сверхзвуковым самолетами
<http://engjournal.ru/articles/618/618.pdf> (24.10.2023)
5. Исторические справки про Конкорд, размеры этого самолета
<https://hi-news.ru/technology/istoriya-samogo-izvestnogo-samoleta-v-mire-i-pochemu-ego-bolshe-net.html> (12.11.2023)
6. История Ту-444, его размеры
<https://avia.pro/blog/tu-444> (12.11.2023)
7. Информация о программе КОМПАС-3D
[https://ru.wikipedia.org/wiki/Компас_\(САПР\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Компас_(САПР)) (18.11.2023)
8. Информация о программе Ansys Fluent
<https://iskra-tech.ru/produkcija/gidrogazodinamika/ansys-fluent> (18.11.2023)
9. Информация о программе Excel
<https://skillbox.ru/media/management/uroki-excel-glavnye-funktsii-o-kotorykh-dolzhen-znat-kazhdyu> (18.11.2023)
10. Формулы для расчета скорости звука, числа Маха
http://lib.ulstu.ru/venec/disk/2014/Starikov_1.pdf (07.03.2024)

Приложение

Приложение 1

Табл. 1. Сравнительная характеристика Ту-444 и Конкорда

Характеристики	Ту-444	Конкорд
Размах крыла(м)	16,2	25,57
Длина самолета (м)	36	56,24
Высота самолета (м)	6,51	12,19
Площадь крыла(м ²)	136	358,6
Пассажировместимость	6-10	92-100 (в зависимости от модификации)
Двигатели	марки АЛ-32М	ТРДФ Rolls-Royce / SNECMA «Olympus»
Крейсерская скорость (км/ч)	2125	2200
Практическая дальность (км)	7500	6470

Табл.2. Расчеты скорости потока в зависимости от числа Маха при постоянной температуре и скорости звука

Скорость потока, м/с	Температура, К	Скорость звука, м/с	Число Маха
222	273	331,2	0,67
331,2	273	331,2	1
496,8	273	331,2	1,5

Табл.3. Расчеты сил, действующих на самолет при разных скоростях

Вид скорости	Лобовое сопротивление, Н	Сопротивление трению, Н	Полное аэродинамическое сопротивление, Н	Подъемная сила, Н
Дозвуковая	21 958	20 165	42 123	211 908
Звуковая	102 255	40 631	142 886	293 373
Сверхзвуковая	211 399	81 974	293 373	837 941

Рис. 1. Зависимость сил, действующих на самолет во время полета, от числа Маха

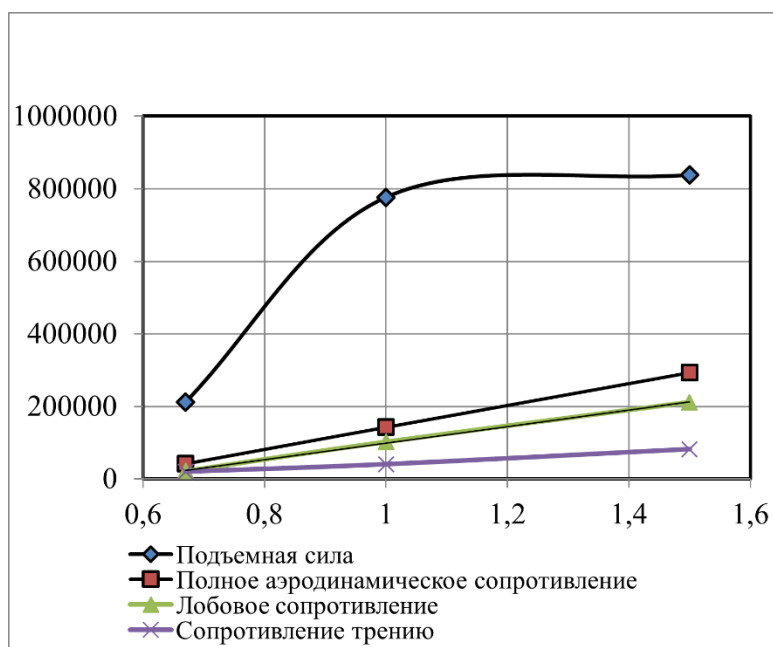


Рис.1. Размеры самолета Ту-444

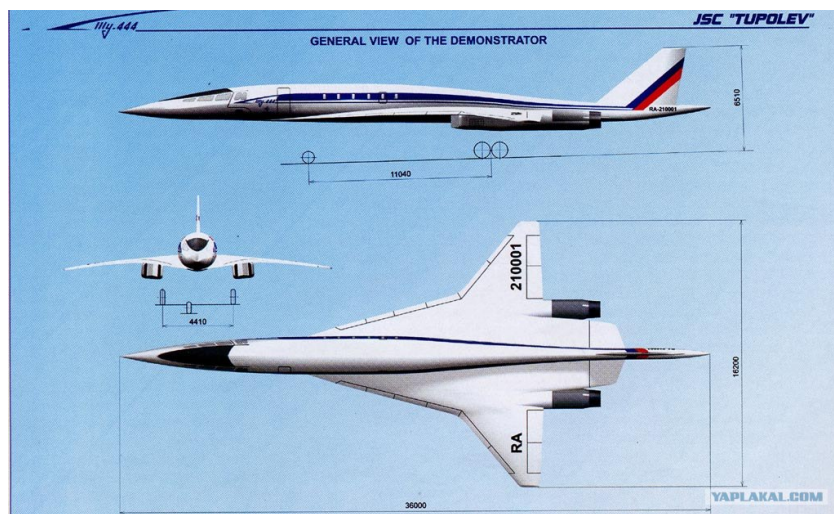


Рис.2. Фюзеляж самолета

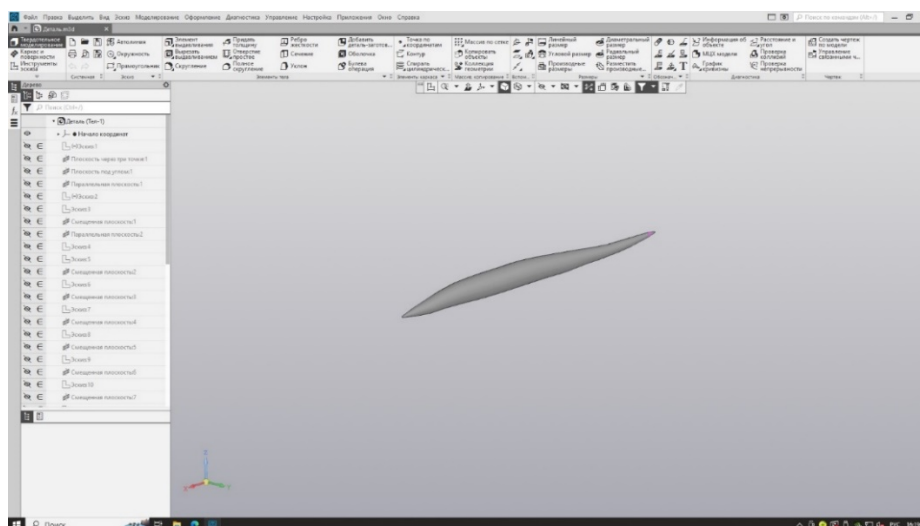


Рис.3 Крылья и хвост

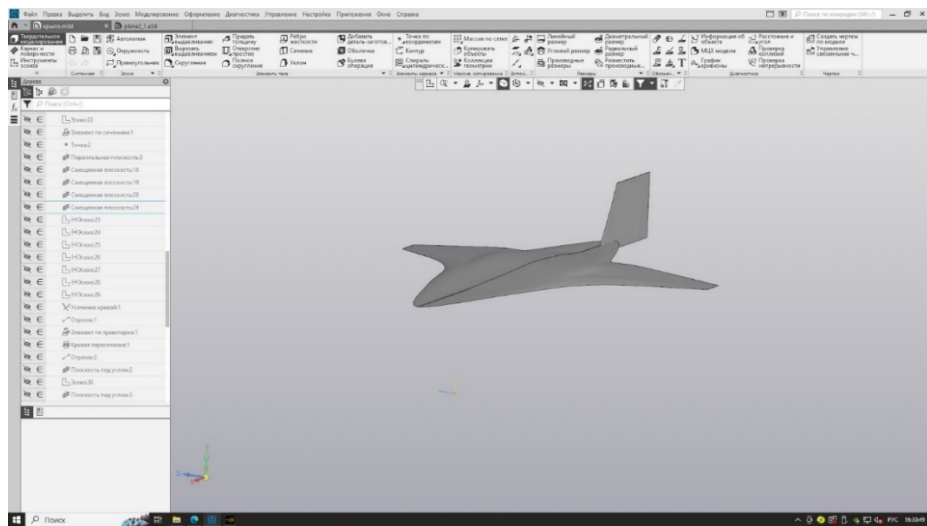


Рис.4. Модель сверхзвукового самолета

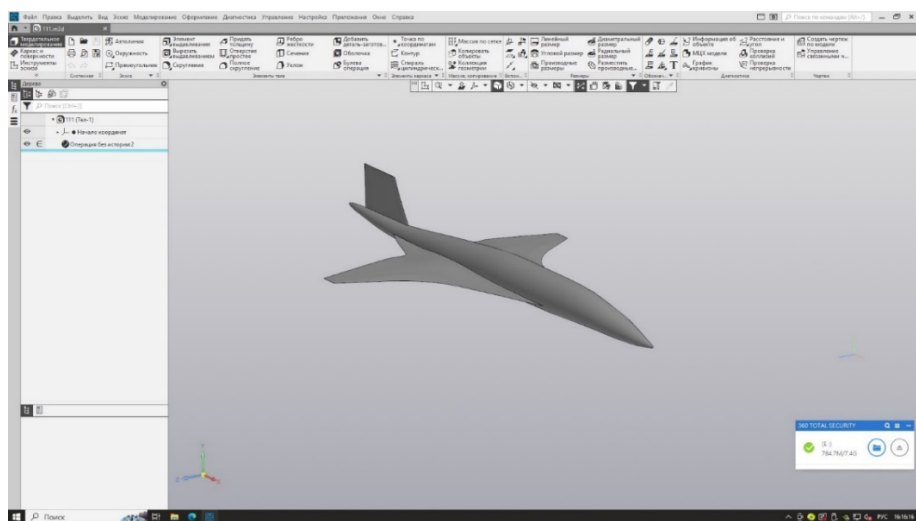


Рис.5. Цилиндр, в который помещён самолет

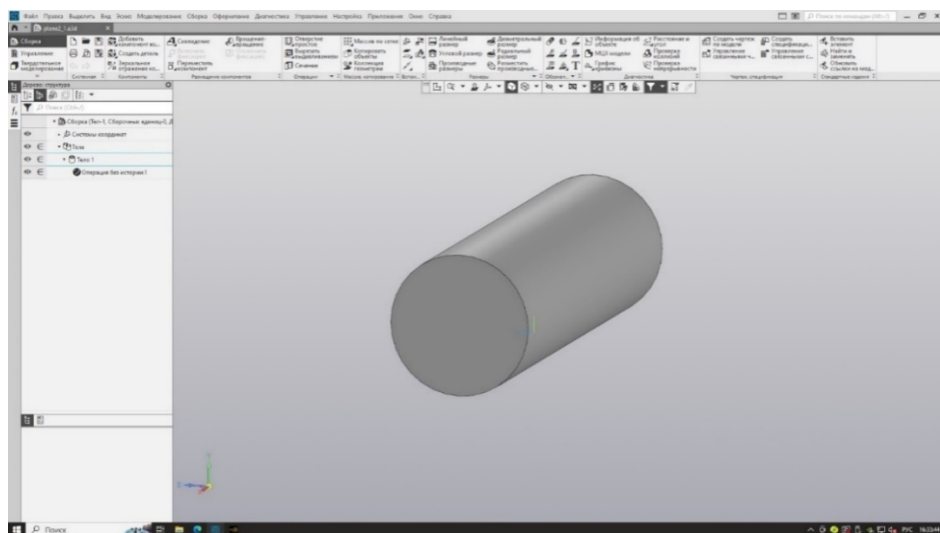


Рис.6. Цилиндр в разрезе

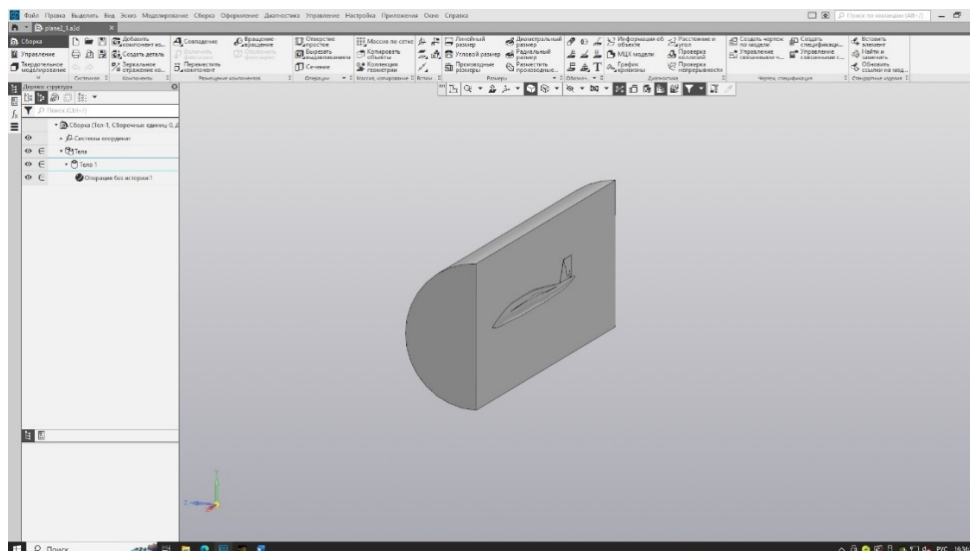


Рис.7. Сетка, полученная в Ansys Fluent

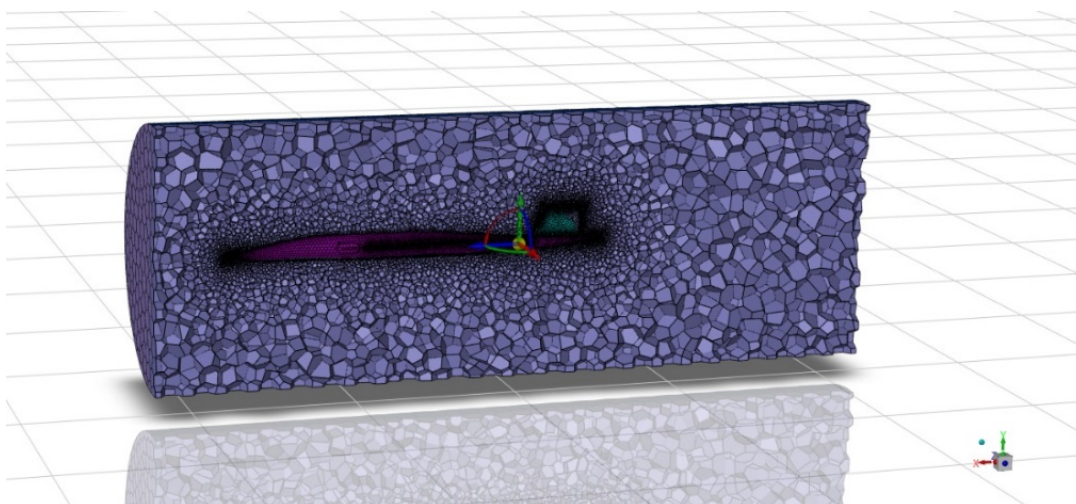


Рис.1. Результаты расчета скорости потока на дозвуковой скорости

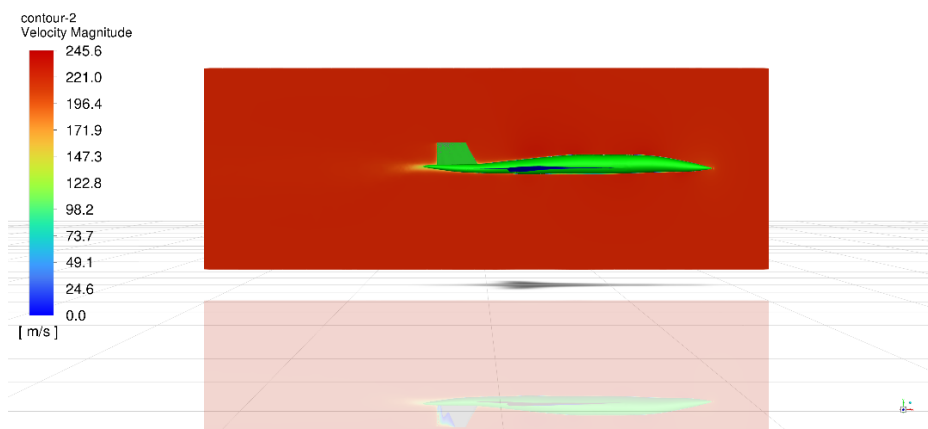


Рис.2. Линии потока на дозвуковой скорости

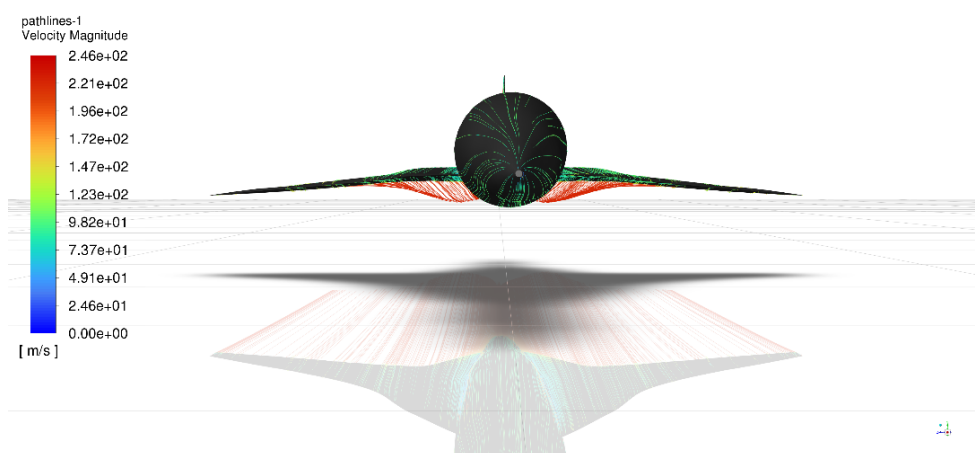


Рис.3. Линии потока на дозвуковой скорости

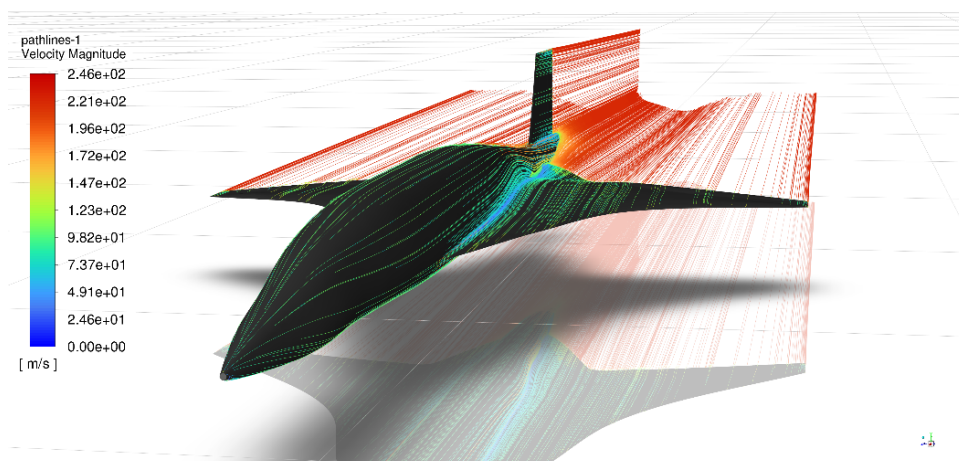


Рис.4. Линии потока на дозвуковой скорости

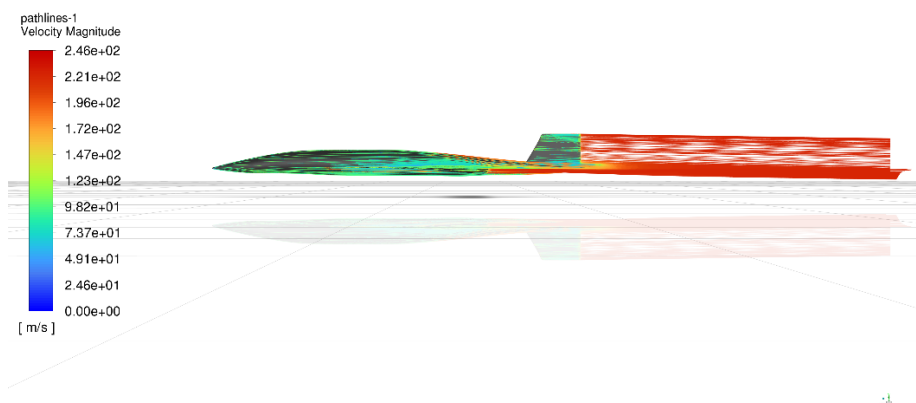
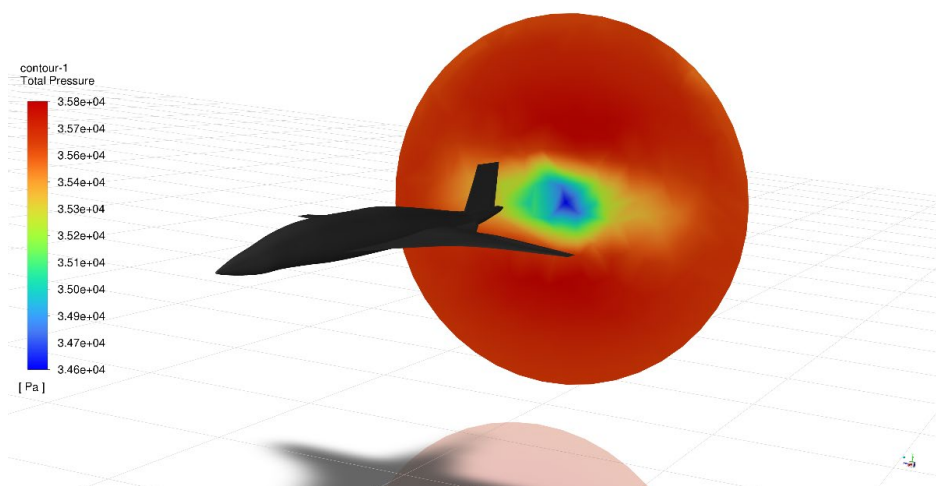


Рис.5. Сохранение полной энергии потока на дозвуковой скорости



Приложение 4

Рис.1. Результаты расчета скорости потока на звуковой скорости

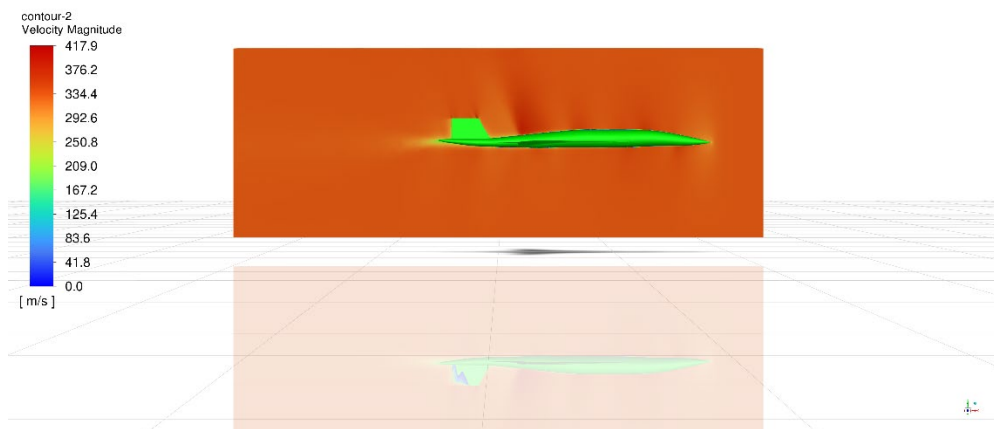


Рис.2. Линии потока на звуковой скорости

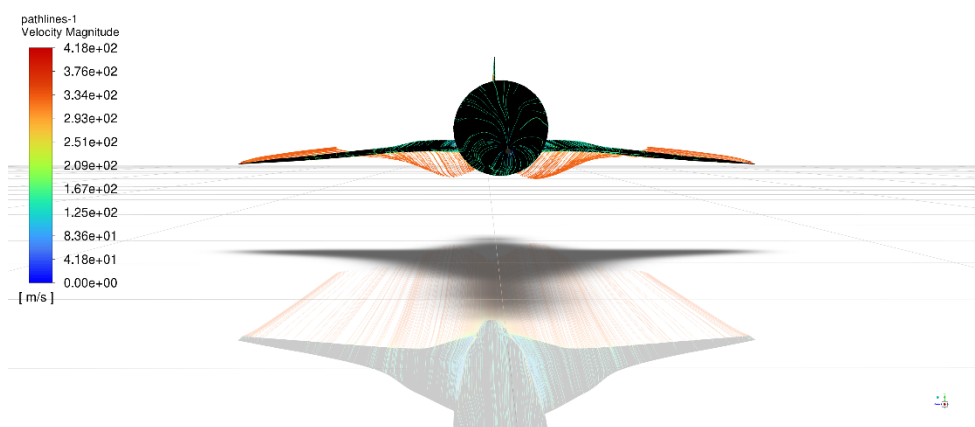


Рис.3. Линии потока на звуковой скорости

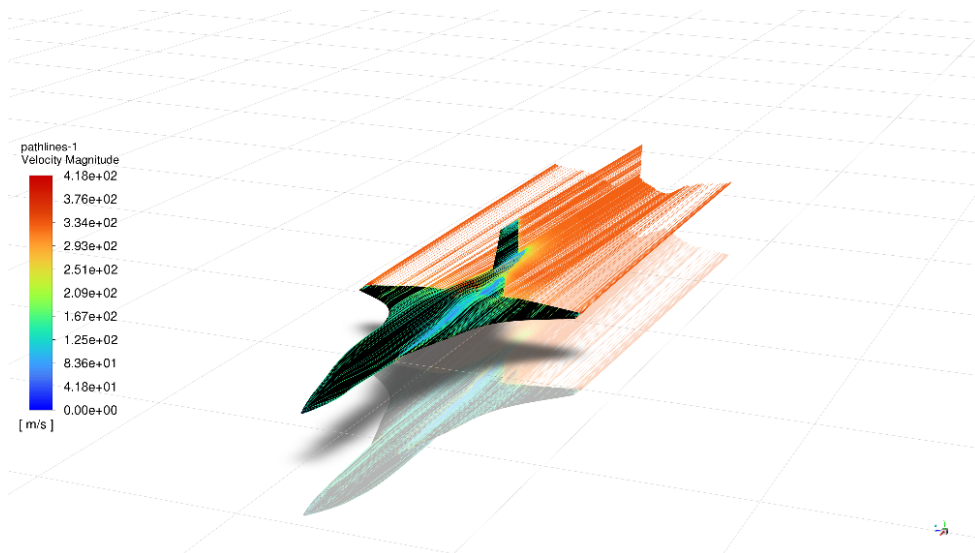


Рис.4. Линии потока на звуковой скорости

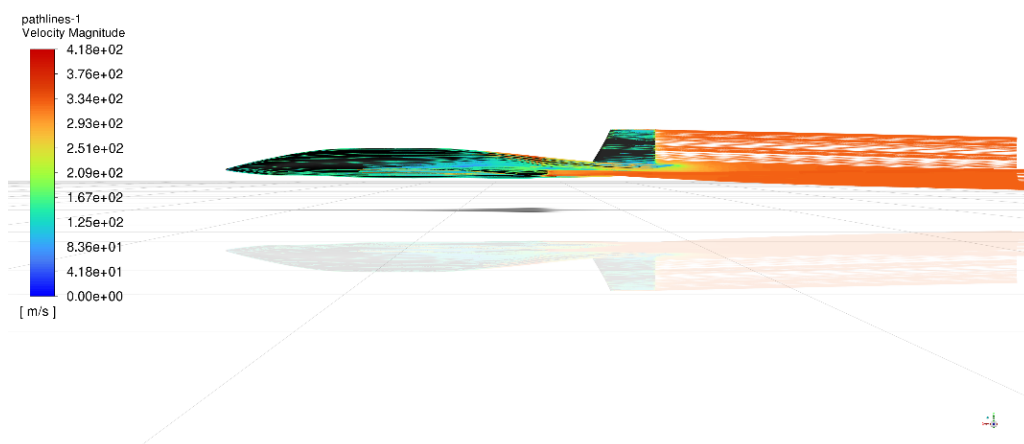
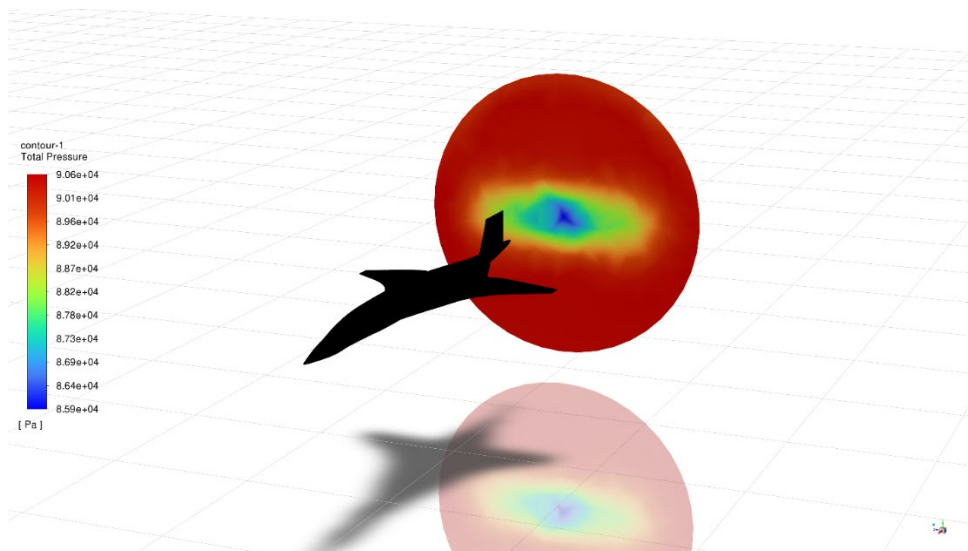


Рис.5. Сохранение полной энергии потока на звуковой скорости



Приложение 5

Рис.1. Результаты расчета скорости потока на сверхзвуковой скорости

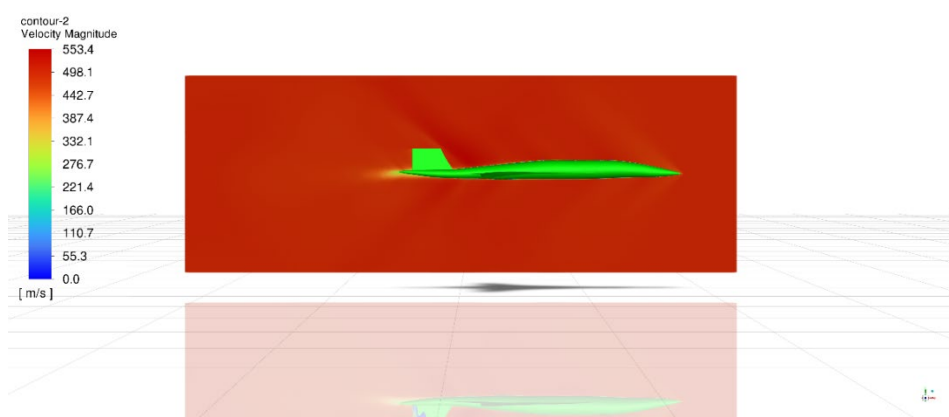


Рис.2. Линии потока на сверхзвуковой скорости

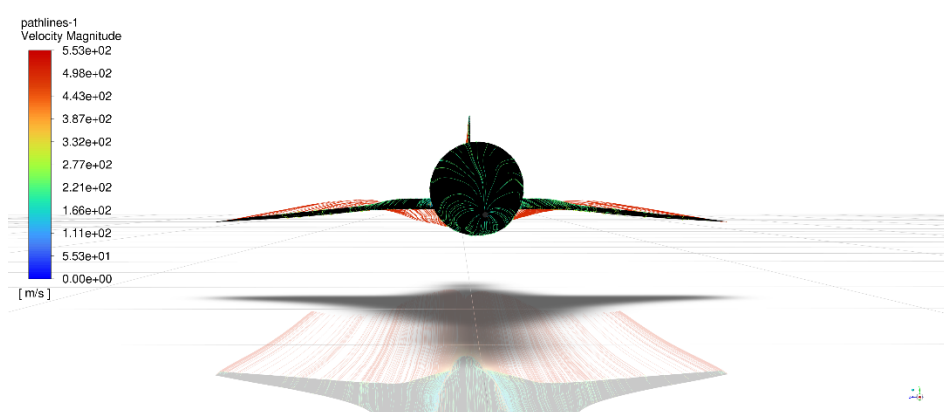


Рис.3. Линии потока на сверхзвуковой скорости

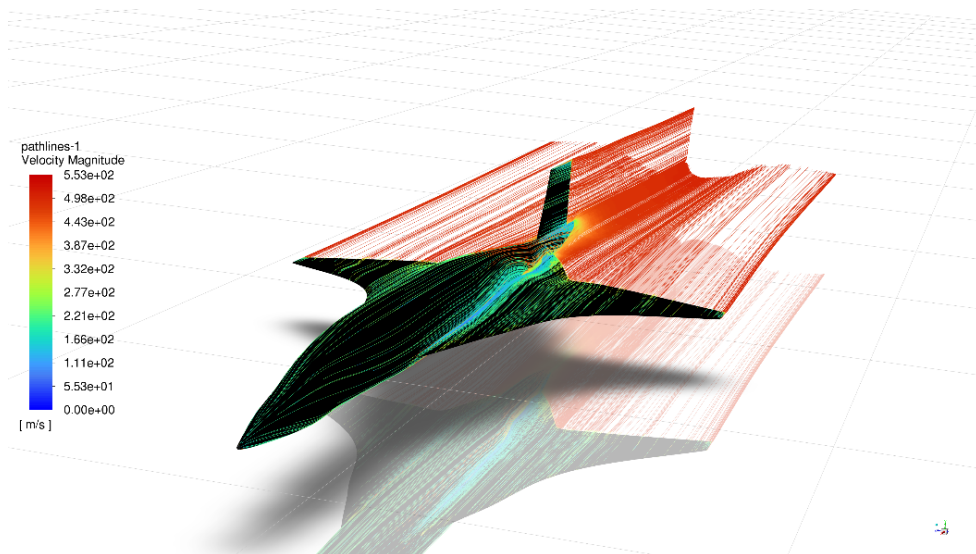


Рис.4. Линии потока на сверхзвуковой скорости



Рис.5. Сохранение полной энергии потока на сверхзвуковой скорости

