

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»
(национальный исследовательский университет)**

**МАТВЕЕВ С.Г., ЛУКАЧЕВ С.В., ОРЛОВ М.Ю., АНИСИМОВ М.Ю.,
ЗУБРИЛИН И.А.**

**РАСЧЕТ ПОТОКОВ В ДИФFUЗОРЕ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ
ГТД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САЕ-СИСТЕМ**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

САМАРА 2010

УДК 532.533

ББК

Рецензенты: док. техн. наук, зав. каф. Теории двигателей летательных аппаратов, д.т.н. профессор начальник отдела ОКБ

Матвеев С.Г., Лукачев С.В., Орлов М.Ю., Анисимов М.Ю., Зубрилин И.А.

Создание трехмерных геометрических виртуальных моделей камер сгорания: учеб. пособие. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2010. – с.:ил.

Учебное пособие знакомит студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» с назначением и видами диффузоров КС ГТД, параметрами, характеризующими их работу, подходами к их осреднению и содержит методику расчета диффузоров с использованием САЕ-систем.

В пособии также приведен порядок выполнения лабораторной работы и контрольные вопросы к ней.

УДК 532.533

ББК

© Матвеев С.Г., Лукачев С.В., Орлов М.Ю., Анисимов М.Ю., Зубрилин И.А.

© Самарский государственный аэрокосмический университет

СОДЕРЖАНИЕ

Основные сокращения, условные обозначения и индексы	4
1 Назначение диффузора камеры сгорания ГТД	5
2 Параметры, характеризующие работу диффузора	8
3 Осреднение параметров неравномерного потока	9
4 Создание геометрической модели диффузора в NX	11
5 Создание сеточной модели диффузора в ANSYS Mesher	13
6 Расчет потоков в диффузоре камеры сгорания ГТД с использованием ANSYS FLUENT	15
6.1 Запуск и интерфейс программного пакета ANSYS Fluent	15
6.2 Операции с конечно-элементной сеткой	17
6.3 Выбор параметров решателя	18
6.4 Выбор рабочего тела	19
6.5 Задание граничных условий	20
6.6 Задание начальных значений параметров	21
6.7 Сохранение рабочей модели	23
6.8 Процедура расчета	23
6.9 Анализ результатов расчета	23
6.10 Построение линий тока	30
7 Порядок выполнения лабораторной работы	32
8 Контрольные вопросы к отчету по лабораторной работе	33

Основные сокращения, условные обозначения и индексы

Сокращения

КС - камера сгорания;

ГТД – газотурбинный двигатель;

NX – Unigraphics;

1 Назначение диффузора камеры сгорания ГТД

Для получения расчетной степени повышения давления воздуха при наименьшем числе ступеней компрессора ГТД, необходимо, чтобы величина осевой составляющей скорости потока была достаточно велика. Поэтому во многих авиационных двигателях скорость воздуха на выходе из компрессора может достигать 150 м/с и выше. Сжигание топлива в потоке воздуха с такой скоростью нецелесообразно как ввиду больших трудностей в осуществлении процесса горения, так и вследствие чрезмерно больших потерь полного давления. При скорости 150 м/с потери полного давления при горении могут достигать 20% от прироста давления, полученного в компрессоре. Следовательно, до начала процесса горения величину скорости потока воздуха необходимо существенно (обычно примерно в 5 раз) уменьшить. Для этого между компрессором и жаровой трубой камеры сгорания устанавливают диффузор.

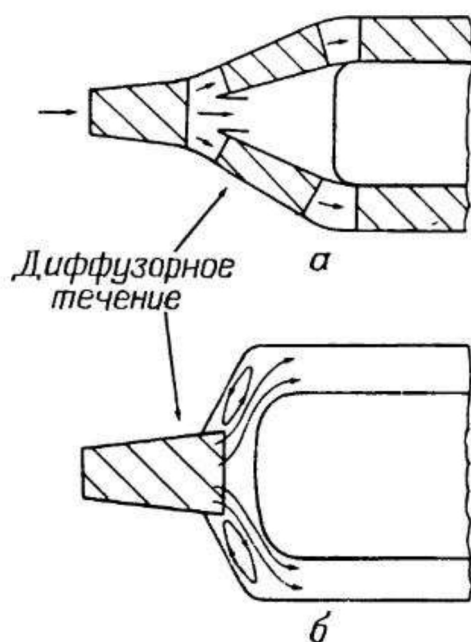
Диффузор представляет собой расширяющийся канал, в котором происходит торможение потока, а уменьшение скоростного напора сопровождается повышением статического давления. Эффективность этого процесса преобразования энергии имеет большое значение, так как любые потери в диффузоре приводят к уменьшению полного давления. Потери в диффузорах обусловлены трением газа о стенки и отрывом пограничного слоя. В длинных диффузорах с малым углом раскрытия потери давления вследствие трения газа о стенки велики. В авиационных двигателях такие диффузоры не применяются ввиду их большой длины. С увеличением угла раскрытия диффузора его длина и потери на трение уменьшаются, но зато становятся существенными потери, связанные с отрывом потока. Поэтому при любой заданной степени расширения проходного сечения диффузора существует оптимальное значение угла раскрытия, при котором общие потери

давления минимальны. Значение этого угла обычно находится в интервале от 7 до 12°. В авиационных двигателях для уменьшения длины диффузора желательно увеличивать угол его раскрытия до наибольшей допустимой величины. Таким образом, оптимальная конструкция диффузора выбирается в результате компромисса между длиной и потерями давления.

С точки зрения конструктора идеальным является такой диффузор, в котором требуемое уменьшение скорости потока достигается на самой малой длине при минимальных потерях полного давления и равномерном и устойчивом течении на выходе из диффузора. В настоящее время имеется достаточное количество предпосылок для проектирования такого диффузора, однако профиль скорости на входе в него должен быть симметричен и не слишком неравномерен. Однако, в большинстве авиационных двигателей профиль скорости на выходе из компрессора является неравномерным и несимметричным и, кроме того, заметно меняется в зависимости от высоты и скорости полета. В этих условиях нельзя обеспечить стационарность течения, из-за чего возникают различные недостатки в аэродинамике камеры сгорания и, что особенно важно, неравномерность и неустойчивость распределения температуры газа в выходном ее сечении. Поэтому проектируемый диффузор должен обеспечивать однородное и устойчивое течение, при неравномерном потоке на входе.

Существует два принципиально различных подхода к проектированию диффузора. Целью одного из них является создание *безотрывного* (хотя и относительно длинного) *диффузора (а)*, обеспечивающего максимальную степень преобразования скоростного напора в давление, а другого — создание короткого кольцевого диффузора, за которым следует резкое расширение сечения со срывом потока (б), рисунок 1. *Срывной диффузор* значительно короче безотрывного и менее чувствителен к изменению поля скорости за

компрессором. Существенным его недостатком являются повышенные потери давления. В настоящее время широко используются диффузоры обоих типов. Однако все большее распространение конструкторы начинают отдавать срывным диффузорам. Это объясняется, в основном, технологическими трудностями, связанными с изготовлением безотрывных диффузоров.



а) плавный;

б) с внезапным расширением.

Рисунок 1 - Типы кольцевых диффузоров

2 Параметры, характеризующие работу диффузора

Эффективность работы диффузора в целом и его элементов оценивается потерями полного давления σ :

$$\sigma = \frac{P_0^* - P_i^*}{P_0^*}.$$

А также коэффициентом потерь полного давления (ξ) и коэффициентом восстановления статического давления (C_p), определяющимися по формулам:

$$\xi = \frac{P^* - P_i^*}{\rho_0 W_0^2 / 2}$$

и

$$C_p = \frac{P_i - P_0}{\rho_0 W_0^2 / 2}$$

где P_0^*, P_0, P_i^*, P_i (Па) - осредненные значения полных и статических давлений на входе в диффузор и в i -ом сечении;

W_0 (м/с) - осредненная скорость потока на входе;

ρ_0 (кг/м³) - осредненная плотность потока на входе, рассчитываемая с использованием газодинамической функции по значению плотности торможения, получаемой из соотношения:

$$\rho_0^* = \frac{P_0^*}{R T_0^*},$$

где R - газовая постоянная воздуха = 287,1 (Дж/кг К).

Для определения величин P и W производится их осреднение.

3 Осреднение параметров неравномерного потока

В результате экспериментального исследования или вычислительного моделирования газодинамических потоков в диффузоре КС ГТД можно определить комплекс параметров (скорость, полное и статическое давления и т.д.) в характерных сечениях. Эффект работы диффузора оценивается его интегральными характеристиками (ξ , σ , C_p), которые рассчитываются на основе этих значений параметров. Отсюда возникает важная задача определения параметров газа в поперечном сечении неравномерного потока.

Наиболее простым способом является расчет средних по площади значений W , P^* , P , например:

$$W = \frac{\int_f W df}{f},$$

где W (м/с) – скорость,

f (м²) - площадь сечения.

Для простейших расчетов может быть использована формула:

$$\overline{W} = \frac{\sum_{i=1}^N W_i \Delta F_i}{\sum_{i=1}^N \Delta F_i},$$

где W_i (м/с) – скорость в i -ом сечении,

F_i (м²) - площадь i -ого сечения.

Однако такое осреднение возможно только при незначительных неравномерностях потока. В противном случае оно может привести к ошибочным результатам: отношение средних значений полного и статического давлений не будут соответствовать среднему значению скорости. Расход газа, вычисленный таким образом, может отличаться от действительного, поэтому к решению задачи осреднения подходят следующим образом.

Нахождение средних значений независимых параметров P^* , T^* и λ проводится при сохранении в исходном и осредненных потоках постоянными расхода газа - G , полной энергии - E и импульса - I . Пусть в поперечном

сечении исходного неравномерного потока известны (заданы или измерены) поля температуры, полного и статического давлений. Тогда можно считать в каждой точке сечения известными полное давление, температура торможения и приведенную скорость. По величине λ :

$$\lambda_i = \frac{W_i}{\sqrt{2 \frac{k}{k+1} R T_i^*}},$$

где R - газовая постоянная воздуха = 287,1 (Дж/кг К);

$k = C_p/C_v = 1.4$, T_i^* - средняя полная температура в i -ом сечении.

В каждой точке сечения могут быть найдены газодинамические функции.

Для потока в целом расход, энергия и импульс определяются интегрированием соответствующих параметров по всему сечению. Так, расход газа может быть определен:

$$G = \int_f dG = \int_F m \frac{P^* q(\lambda)}{\sqrt{T^*}} dF,$$

где G – расход,

P^* - полное давление,

$q(\lambda)$ – газодинамическая функция, представляющая собой отношение площадей, занятых невязким потоком в критическом и анализируемом сечении,

T^* - полная температура.

Например для температуры имеет место следующее соотношение, из которого определяются осредненные параметры :

$$G c_p \overline{T^*} = \int_G c_p T^* dG,$$

здесь с одной стороны – истинные параметры, с другой - осредненные. Теплоемкость газа при этом считается постоянной по всему сечению.

4 Создание геометрической модели диффузора в NX

NX обладает большими возможностями в области построения трехмерных геометрических моделей. В нем одну и ту же деталь можно получить различными методами. В нашем случае для построения модели элементарного диффузора использовалось эскизирование - самый распространенный и быстрый метод получения твердых тел. На базе эскиза проводим построение газодинамической области проточной части диффузора, которая не включает ограничивающих ее металлических конструкций. Для построения твердого тела на базе профиля в эскизе все его линии должны формировать замкнутую цепь, рисунок 2.

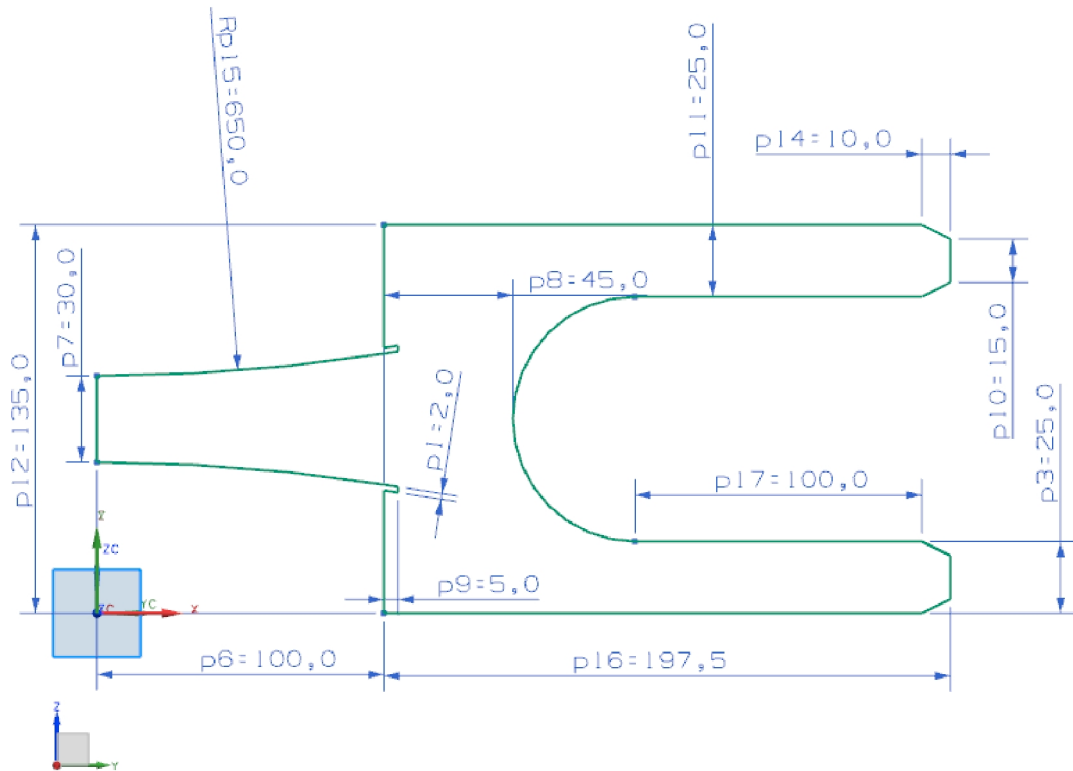


Рисунок 2 - Плоский эскиз диффузора

Для построения твердого тела из такого эскиза обычно проводят две операции: вращение вокруг оси для получения углового сектора или вытягивание на заданное расстояние или по кривой. В нашем случае проводится построение упрощенной модели диффузора, которая во входном

и выходном сечениях имеет прямоугольники. Поэтому можно ограничиться использованием только функции простого вытягивания, рисунок 3.

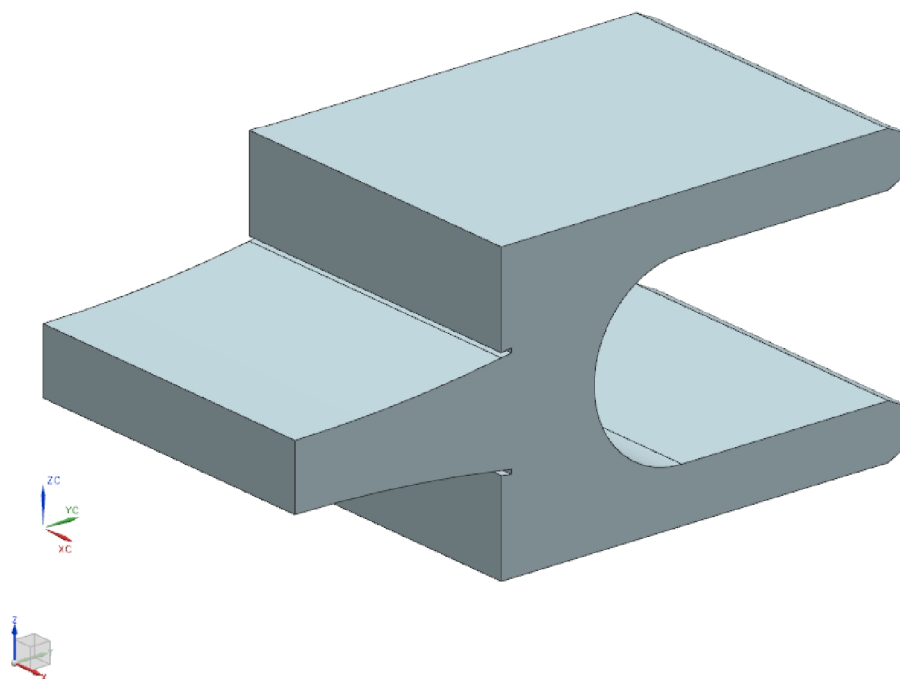


Рисунок 3 - Готовая модель диффузора

5 Создание сеточной модели диффузора в ANSYS Mesher

Исходя из требований к диффузорам (безотрывные течения, минимальные габариты и потери полного давления), можно сформулировать основные требования к его математической и сеточной моделям. Модель должна адекватно предсказывать наличие отрывных течений и потерь на трение. Все перечисленные явления происходят вблизи твердых стенок, а именно в пограничном слое. Наряду с этим, необходимо правильно смоделировать характеристики турбулентности вблизи стенок, поскольку твердая стенка является её основным источником. Поэтому, необходимо использовать математическую модель турбулентности, позволяющую выполнить качественные расчеты в данной области. На работу диффузора в частности, и на камеру сгорания в целом, сильное влияние оказывает неравномерность потока за компрессором, поэтому необходимо адекватно моделировать поведение рабочего тела в свободном потоке (далеком от стенки). Из широко распространённых двухпараметрических моделей вышеперечисленным требованиям удовлетворяют модели k- ω SST и k- ϵ Realizable с использованием расширенной пристеночной функции. Для данных моделей существуют следующие рекомендации для сетки в пограничном слое:

- значение y^+ для прилегающего к стенке конечного элемента должно быть порядка $y^+=1$. Тем не менее, допустимо значение $y^+ < 5$;
- необходимо иметь как минимум 10 элементов в пристеночном слое, для которых $Re_y < 200$.

Значение y^+ зависит не только от размера первого от стенки конечного элемента, но и является функцией потока. При уменьшении его высоты в два раза, значение y^+ не уменьшится во столько же. Просмотреть значение y^+ и Re_y можно при обработке результатов расчета. Следовательно, вносить изменения в конечно-элементную сетку можно только после получения предварительного результата.

Для получения пограничной сетки высокого качества в Ansys Mesher существует специализированная опция генерации призматических слоев «Inflation». В ней имеется возможность создания пограничного слоя заданной толщины. Эту толщину подбираем исходя из условия наличия минимум 10 элементов с $Re_y < 200$ в интересующих зонах. Затем подбираем коэффициент увеличения размера элементов исходя из условия для первого элемента $y^+ = 1$.

Для более точного расчета поля скоростей в свободном потоке, рекомендуется иметь минимум шесть элементов по высоте канала, не считая элементы в пограничном слое.

6 Расчет потоков в диффузоре камеры сгорания ГТД с использованием ANSYS FLUENT

6.1 Запуск и интерфейс программного пакета ANSYS Fluent

Выбор математической модели потока, задание граничных условий, настройка параметров решателя, расчет модели и обработка результатов производится в программном пакете ANSYS Fluent.

Запускаем Ansys Fluent, рисунок 4.

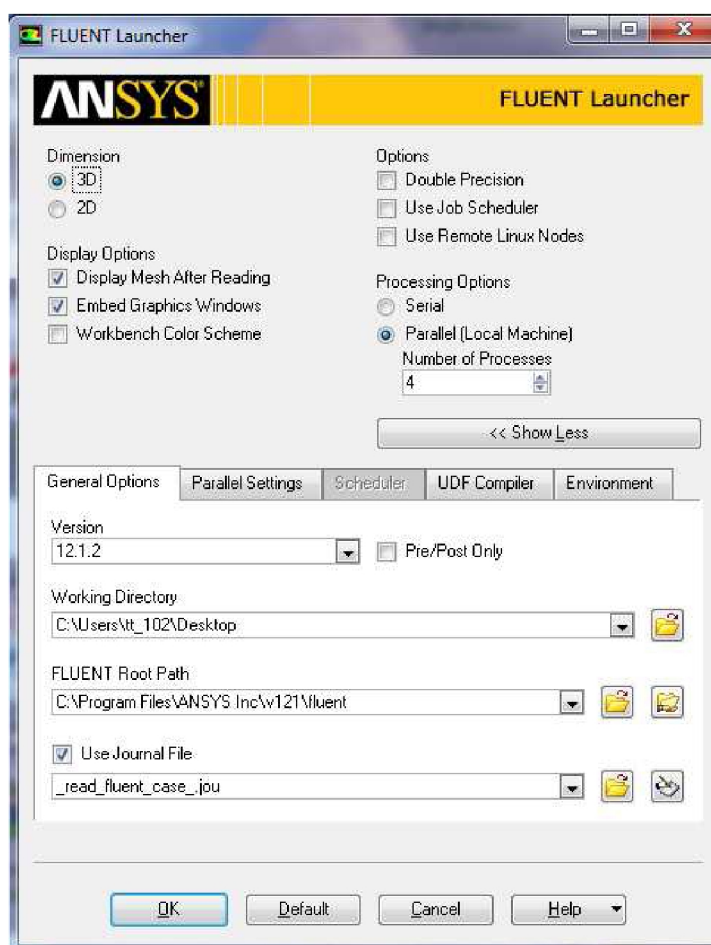


Рисунок 4 - Меню выбора типа задачи и настройки параметров

В окне запуска становятся доступными настройки для запуска решателя, основными из которых являются:

- размерность задачи «Dimension»: 2D – двухмерная или 3D – трехмерная;

- количество расчетных узлов для решения задачи «Processing Options»:
serial – 1 процессор, «Parallel» – несколько процессоров;
- «Display options» позволяют принимать следующие решения: «Display Mesh After Reading» – отображение сетки сразу после ее загрузки; «Embed Graphics Windows» – встраивание графических окон в окно приложения: «Workbench Color Scheme» – выбор цветовой схемы;
- рабочая директория «Working Directory».

После настройки параметров запуска и нажатия кнопки «OK» переходим в рабочее окно программы, рисунок 5, состоящее из следующих пяти элементов:

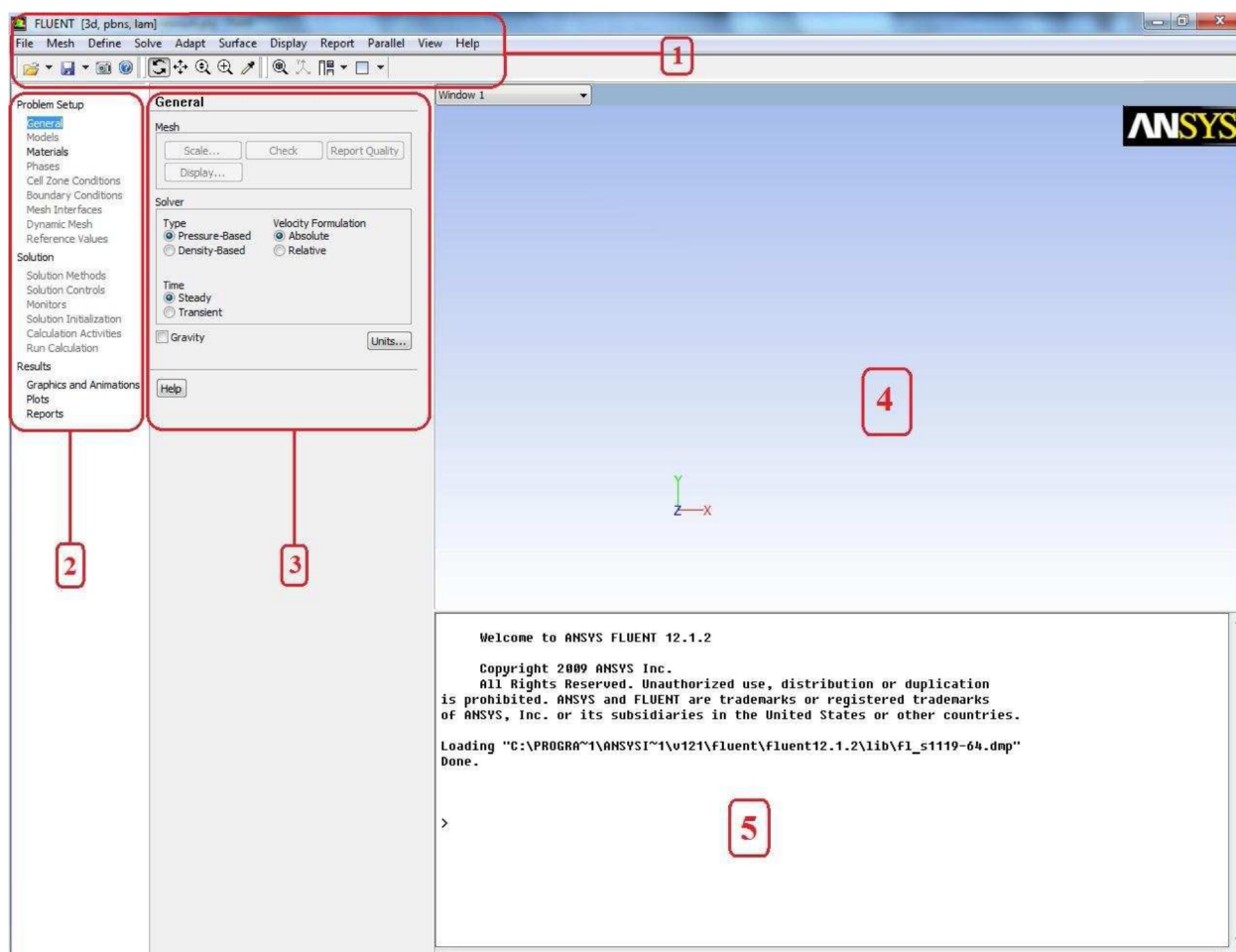


Рисунок 5 - Рабочее окно программы

- главного меню (1) с доступом к основным командам;

- текстовый интерфейс или консоль (5), который используется для отображения различной информации (например, сообщений, связанных с сеткой, процедурой решения и т.д.) и для ввода команд;
- навигационное окно или дерево задач (2) в котором расположены наиболее часто употребляемые команды;
- панель настройки параметров (3), отображающая доступные настройки объекта, выбранного в навигационном окне;
- графическое окно (4).

6.2 Операции с конечно-элементной сеткой

Для загрузки расчетной сетки выполняем команду:

File > read > mesh

Все операции над сеткой вызываются из меню «Mesh», рисунок 6.

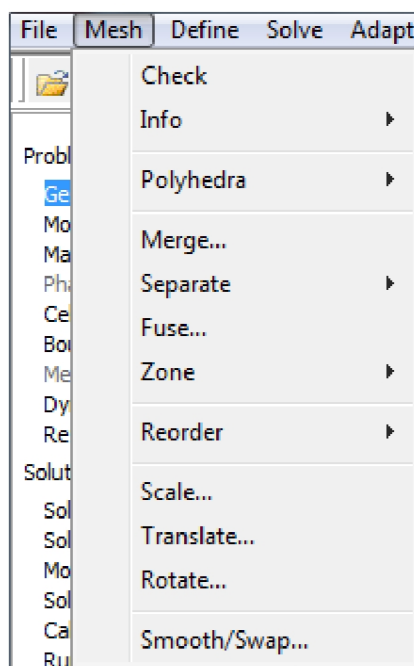


Рисунок 6 – Меню «Mesh»

Проверка сетки на ошибки осуществляется с помощью команды:

Mesh > check

При наличии ошибок, необходимо их исправить в сеточном генераторе.

Выполняем масштабирование сетки, используя специальную функцию масштабирования «Scale»: **Mesh > scale**.

6.3 Выбор параметров решателя

Для учета изменения температуры потока и тепловых явлений, в расчет включаем уравнение энергии с помощью команды:

Problem setup > models > Energy.

При расчете диффузора поток газа характеризуется наличием турбулентности, для задания модели которой используем:

Problem setup > models > Viscous, рисунок 7.

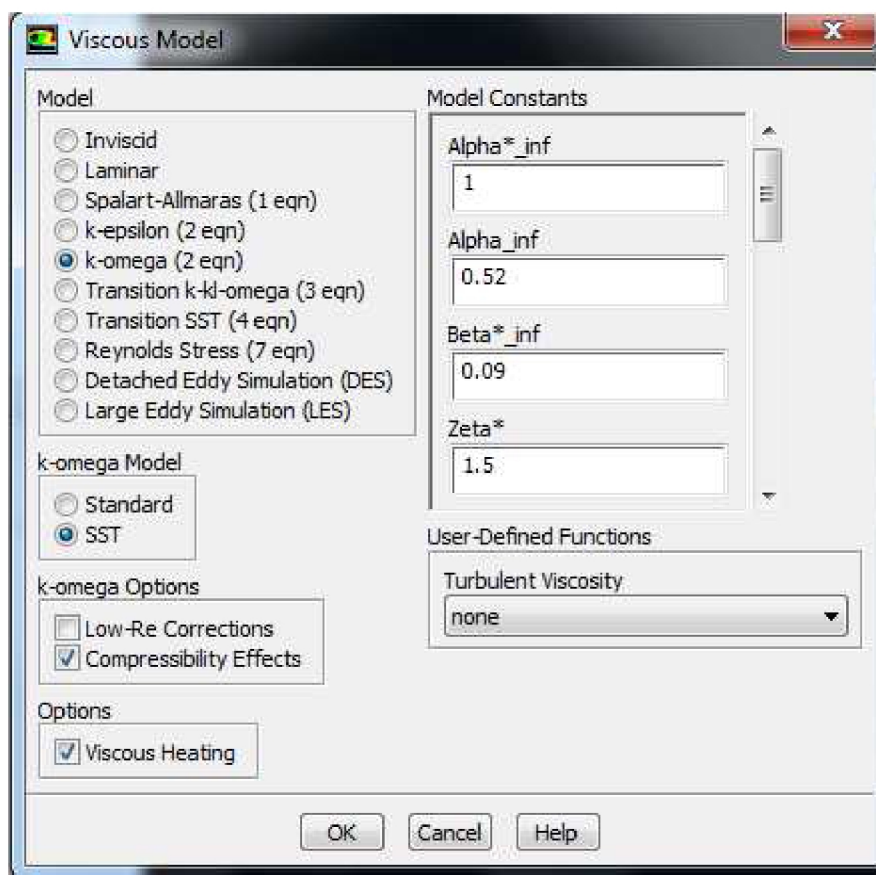


Рисунок 7 - Меню «Viscous Model»

При расчете диффузора важен учет трения потока о поверхности стенок, адекватное предсказывание отрывных зон и решения комплексных потоков с большими градиентами скорости и давления, исходя из этого, используется

модель турбулентности k-omega SST. Вариант k- ω модели представляет собой сочетание оригинальной k- ω модели в пристеночных зонах и k- ϵ модели в ядре потока с использованием функции смешивания.

Также можно использовать модель k- ϵ Realizable с подключением расширенной пристеночной функции «Enhanced Wall Function», лучше предсказывающая характеристики в свободном течении.

6.4 Выбор рабочего тела

Выбор свойств рабочего тела осуществляется в меню «Materials» рисунок 8:

Problem setup > materials > fluid > Change > create

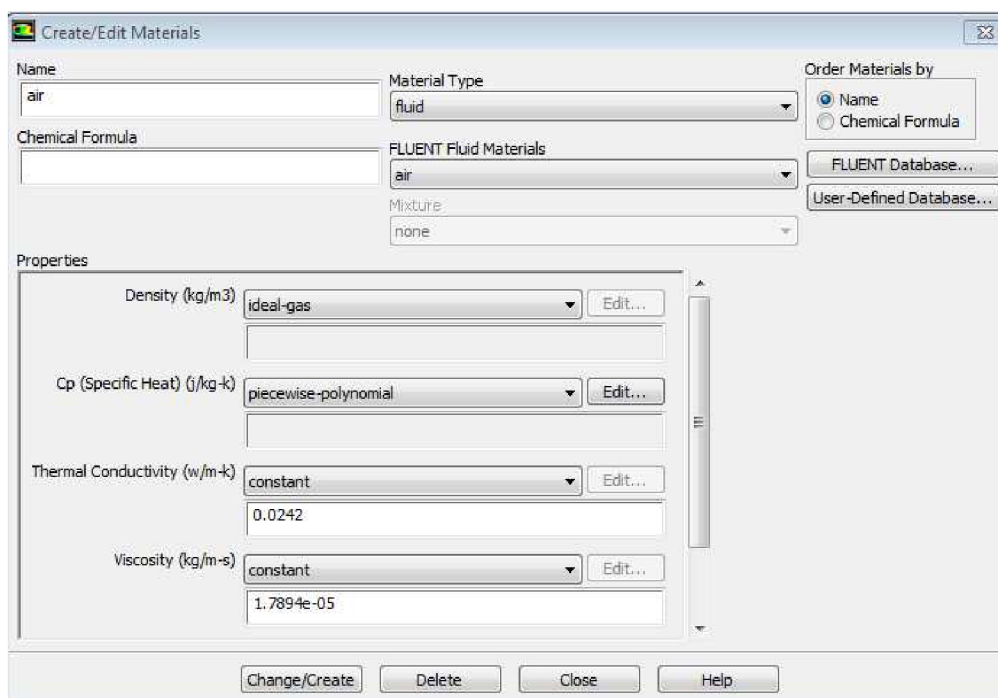


Рисунок 8 - Меню «Materials».

По умолчанию в программе ANSYS Fluent рабочим телом установлен воздух, для выбора другого рабочего тела используем FLUENT Database. В окне «Properties» задаются параметры рабочего тела (плотность, вязкость, изобарная теплоемкость и т.д.). Во вкладке «Density» (плотность) рекомендуется выбрать «ideal-gas», в «Cp» (изобарная теплоемкость) –

«piecewise-polynomial», а в «Viscosity» (вязкость) – «Sutherland». При нажатии «Change/Create» будут внесены эти изменения.

6.5 Задание граничных условий

Меню задания граничных условий вызывается командой:

Problem setup > Boundary conditions.

В окне «Zone» находятся все граничные зоны, определенные в препроцессоре. Для точного задания массового расхода на входе удобно использовать «mass flow inlet», рисунок 9.

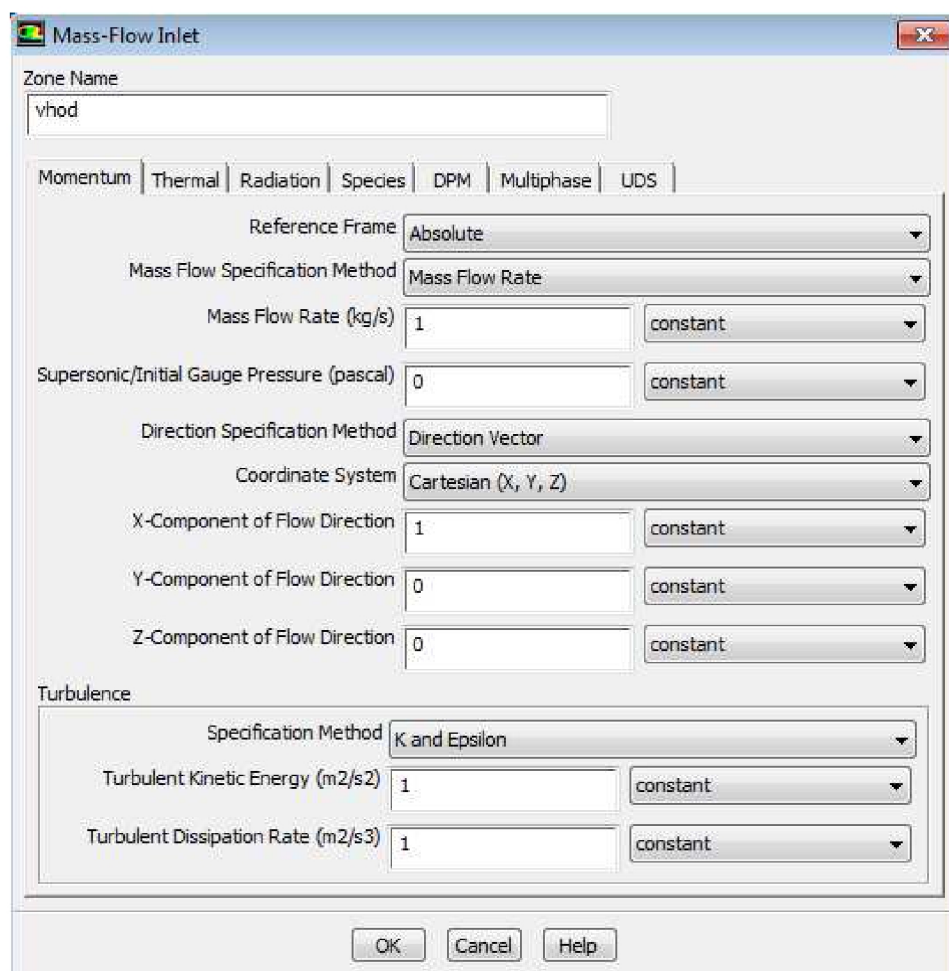


Рисунок 9 - Меню «Mass Flow Inlet».

Во вкладке Momentum в поле «Mass Flow Rate (kg/s)» задается требуемый расход на входе (кг/сек.), а в поле «Supersonic/Initial Gauge Pressure (pascal)» - статическое давление на входе. Во вкладке «Thermal»

указываем полную температуру «total temperature». Нажатием «OK» сохраняем заданные параметры.

Для задания граничных условий на выходе выбираем из списка плоскостей поверхность выхода. Для расчета диффузора лучше выбрать «Pressure Outlet» . После нажатия «Edit» откроется окно «Pressure Outlet» рисунок 10. В поле «Gauge Pressure (Pascal)» задается статическое давление за зоной выхода.

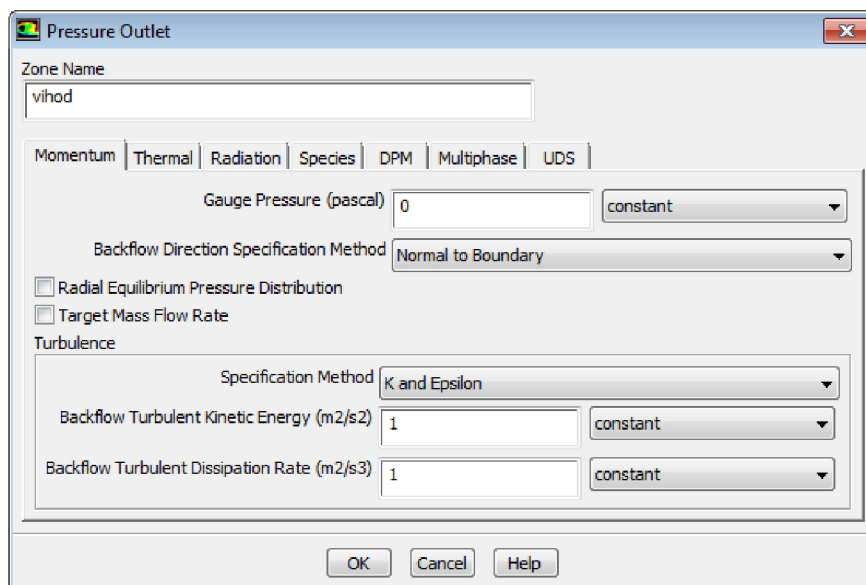


Рисунок 10 - Меню «Pressure Outlet»

6.6 Задание начальных значений параметров

Меню установки начальных условий, рисунок 11, вызывается командой:
Solutions > Solution initialization.

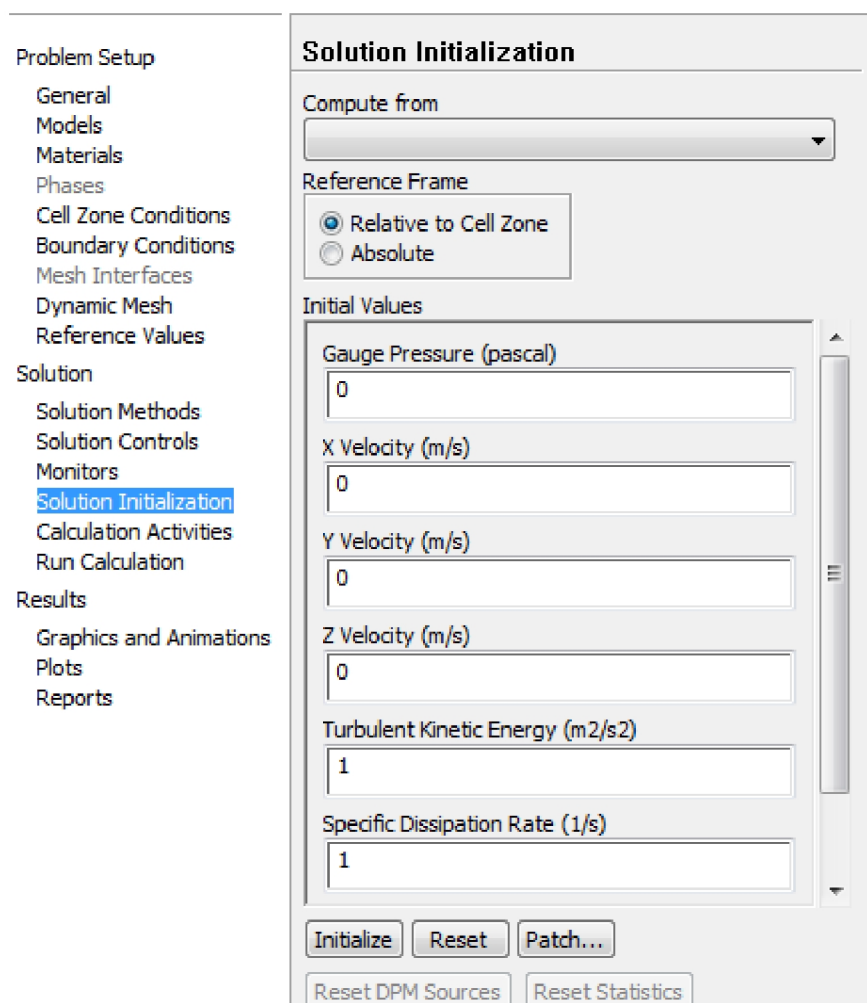


Рисунок 11 - Меню задания начальных значений.

Во вкладке «Compute from» выбирается граничная зона. В результате вычисляются средние значения параметров в данной зоне. Эти значения можно редактировать и вручную. При нажатии «Initialize» эти значения присваиваются каждой ячейке сетки. Правильный выбор этих параметров может существенно улучшить устойчивость и сходимость, и ускорить решение.

Функция «Full Multi Grid» (FMG) нужна для более точной инициализации. Эта функция включается только через текстовый интерфейс командой:

Solve > initialization > fmg-initialization > yes.

Расчет производится на грубой сетке, которая создается на базе существующей автоматически.

После окончания FMG инициализации, в текстовом интерфейсе появится сообщение: FMG:

Initialize flow for Segregated solution > end.

Данная опция доступна только при использовании решателя «Pressure-based solver».

6.7 Сохранение рабочей модели

Для сохранения расчетной модели и всех сделанных настроек решателя используем команду:

File > write > case and data.

В открывшемся окне выбираем место записи и имя модели.

6.8 Процедура расчета

Для начала расчета используем команду:

Solutions >Run calculation.

Для запуска решения необходимо ввести число итераций, «Number of iterations», и нажать «Iterate». Число итераций может быть произвольным. Если решение сойдется, то процесс расчета остановится автоматически. Если заданного числа итераций будет недостаточно для получения решения, то расчет можно продолжить. Расчет можно остановить в любой момент нажатием «Cancel» и продолжить с момента остановки.

После запуска в графическом окне будет строиться график зависимости невязок решений от числа итераций.

6.9 Анализ результатов расчета

Одним из важных параметров диффузора, является потери полного давления. Этот параметр вычисляется не только во всем диффузоре, но и в

отдельных его частях. Значения в ANSYS Fluent можно вычислить интегральным осреднением по плоскости. Для этого открываем меню «Reports» в навигационном окне и выбираем «Surface Integral», рисунок 12.

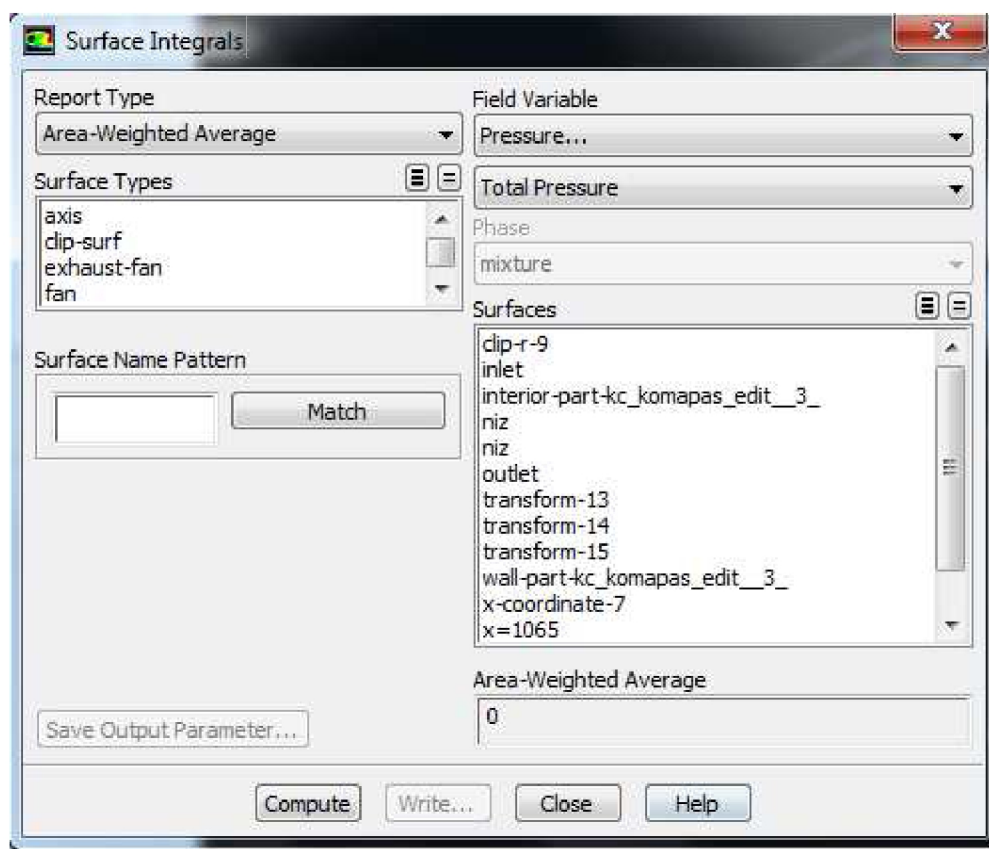


Рисунок 12 - Меню «Surface Integral».

Окно «Surface Integral» позволяет просмотреть результаты расчета площадей, массового и объемного расхода и др. Это окно содержит:

- Report Type - раскрывающийся список с опциями, которые управляют методом поверхностной интеграции;
- Field Variable- список переменных поля, которые могут быть использованы для поверхностной интеграции;
- Surfaces- список плоскостей.
- Save Output Parameter.- окно для экспорта данных;
- Compute - вычисляет указанный интеграл на указанной поверхности.

Мы не всегда располагаем плоскостями, необходимыми для вычисления нужных величин. Поэтому в ANSYS Fluent имеется ряд операций, с

помощью которых можно создать нужные плоскости, а затем перемещать их либо поворачивать вокруг оси.

Для создания новых рабочих поверхностей можно использовать инструмент «iso-surface», рисунок 13:

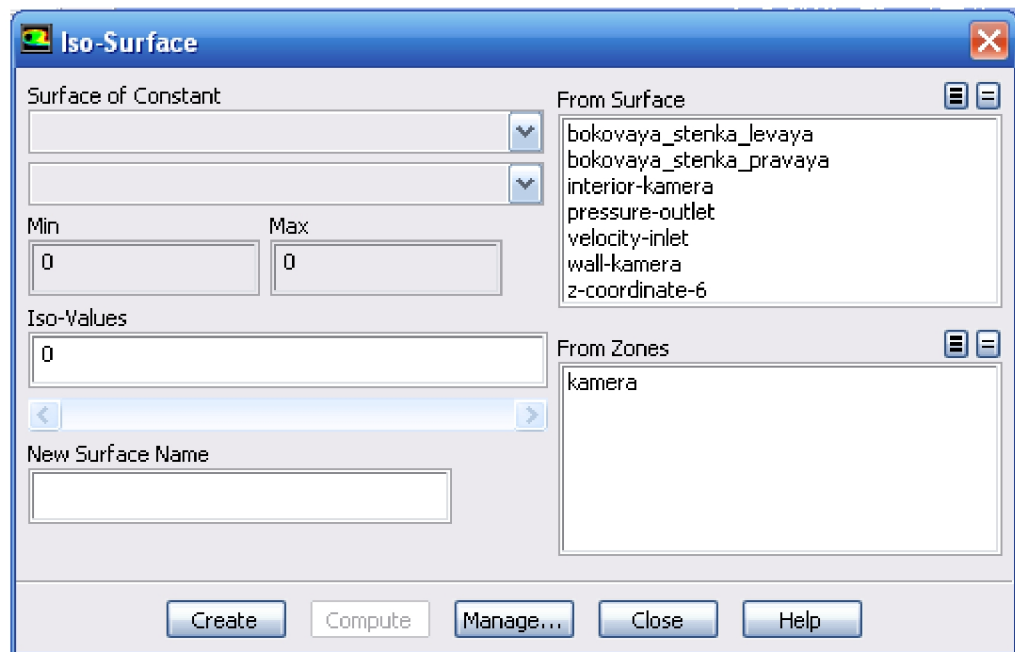


Рисунок 13 - Меню «Iso-Surface».

Surface > iso-surface создает поверхности по постоянному параметру и содержит следующие элементы:

- Surface of Constant – список доступных параметров из которых выбирается необходимый;
- Min - минимальное значение параметра на выбранных поверхностях;
- Max - максимальное значение параметра;
- Iso-Values - множество значений задаваемых пользователем;
- From Surface - содержит перечень существующих поверхностей;
- New Surface Name- имя создаваемой поверхности.
- Create- создание новой поверхности;
- Compute- обновляет минимальное и максимальное значение на выбранных поверхностях;
- Manage- обеспечивает доступ к меню работы с поверхностями.

Если в поле «From Surface» не выбрана ни одна из поверхностей, то вычисления проводятся по всей расчетной области.

Для разрезания поверхностей используется инструмент «Iso-Clip», рисунок 14:

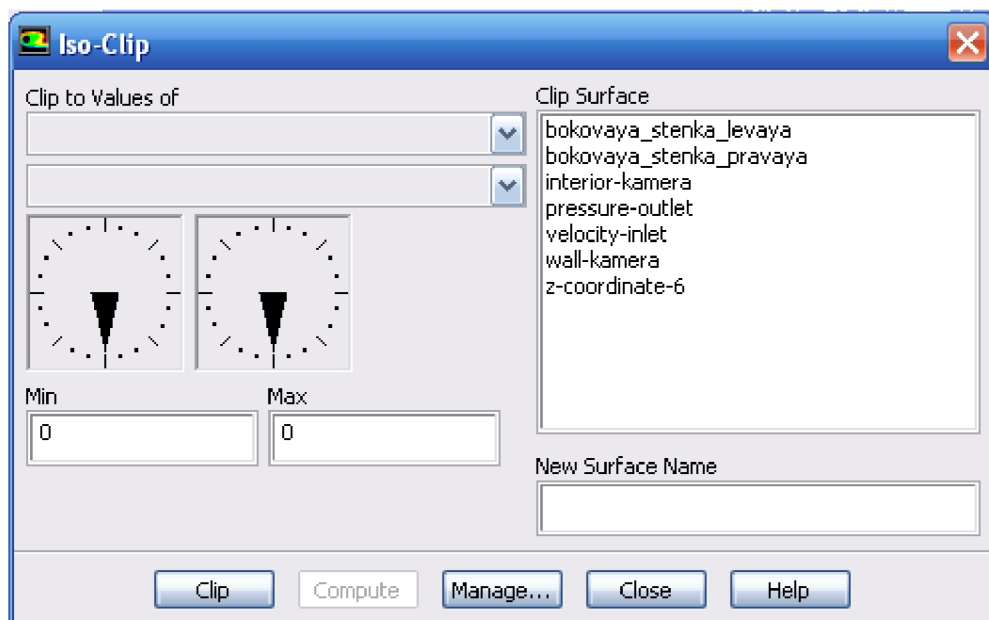


Рисунок 14 - Меню «Iso-Clip»

Данный инструмент создает поверхность из уже существующей путем вырезания из нее области, содержащей значения параметра из указанного диапазона. В диалоговом окне инструмента содержатся следующие элементы:

- Clip to Values of – список доступных скалярных величин;
- Phase позволяет выбрать фазу, для многофазных моделей.
- Min, max- диапазон между минимальным и максимальным значениями параметра для отсечения плоскости.
- Clip Surface - список поверхностей, из которых можно выбрать поверхность для отсечения.
- New Surface Name - имя создаваемой поверхности.
- Clip-функция создания отсеченной поверхности.
- Compute- вычисление минимальных и максимальных значений.

Созданные поверхности можно перемещать и поворачивать относительно заданных осей командой

PM > surface > Transform Surface, рисунок 15.

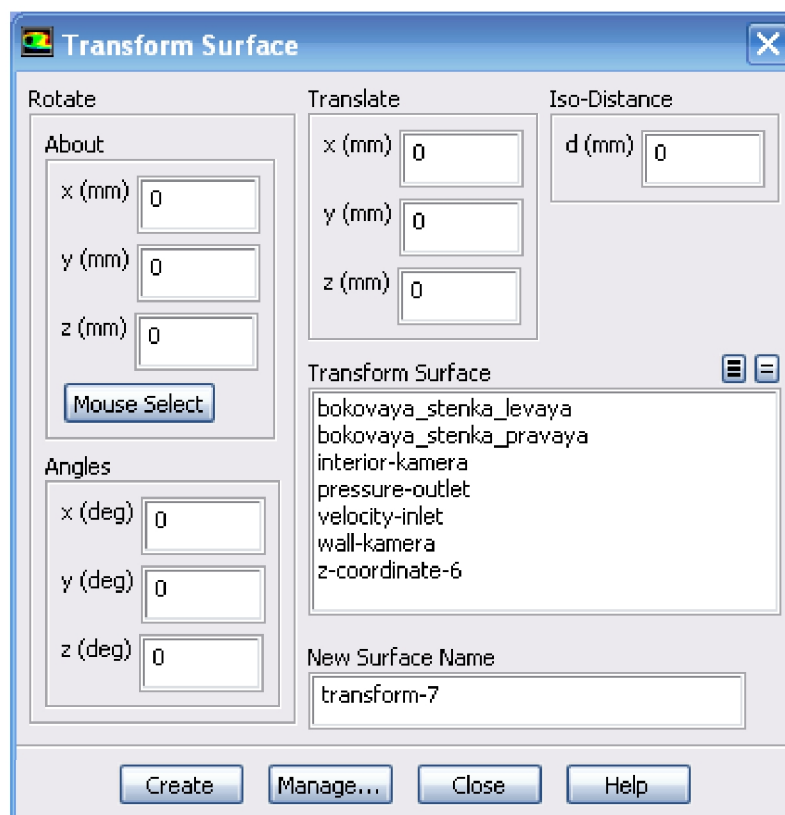


Рисунок 15 - Меню «Transform Surface».

В окне «Transform Surface» находится список доступных для перемещения поверхностей.

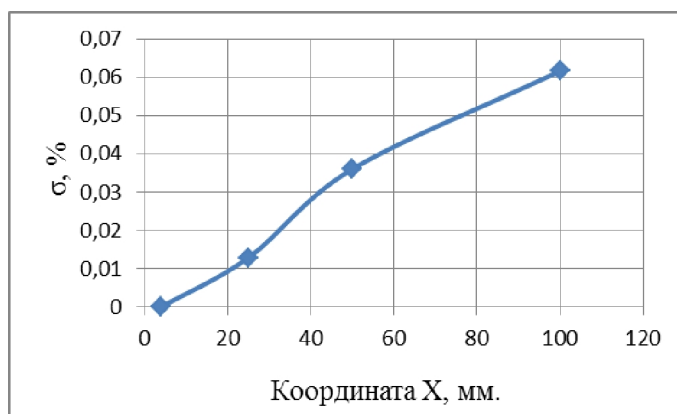
Чтобы повернуть поверхность относительно оси в поле «Rotate» выбираем координатную ось, относительно которой будет осуществляться поворот. В «Angles» вводим значения угла поворота плоскости.

Для перемещения плоскости используется команда «Translate», при этом в полях x, y и z вводятся значения расстояния, на которые будет перемещена плоскость вдоль соответствующих координатных осей.

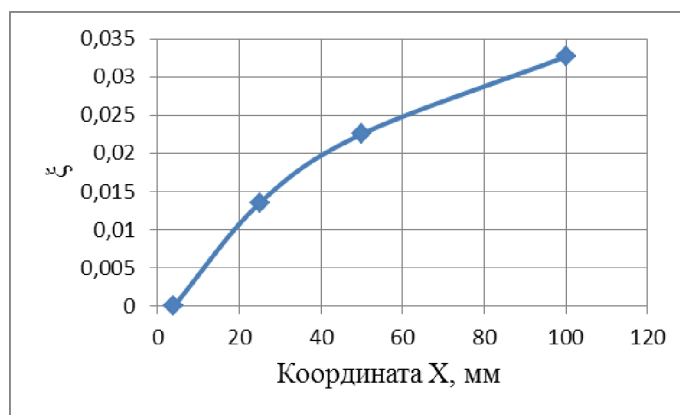
Для перемещения плоскости вдоль нормали к ней используется «Iso – Distance».

С помощью данных команд можно построить практически любую плоскость в нужном месте.

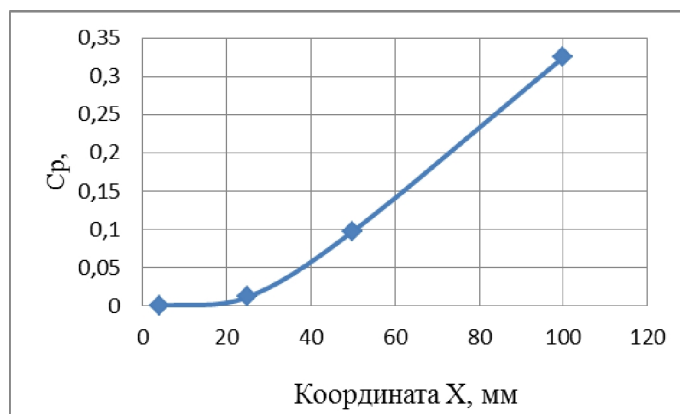
Вычисляя значения необходимых параметров на созданных поверхностях можно построить зависимости основных характеристик диффузора, рисунок 16.



а)



б)



в)

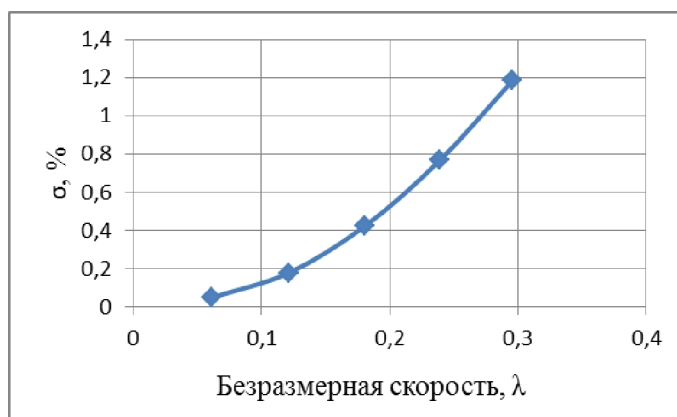
а) Потери полного давления;

б) Коэффициент потерь полного давления;

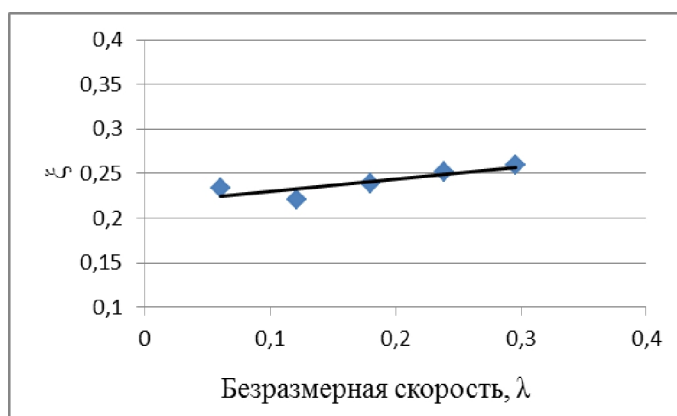
в) Коэффициент восстановления статического давления

Рисунок 16 – Зависимости основных характеристик диффузора от осевого положения

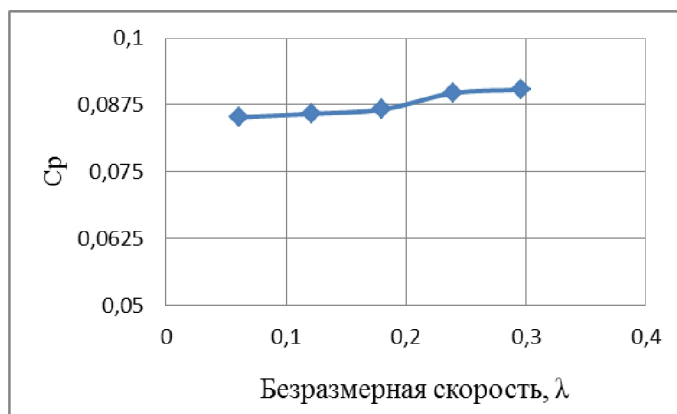
Задавая различные значения массового расхода воздуха на входе можно моделировать различные режимы работы диффузора, рисунок 17.



а)



б)



в)

а) Потери полного давления;

б) Коэффициент потерь полного давления;

в) Коэффициент восстановления статического давления

Рисунок 17 - Зависимости основных характеристик диффузора от приведенной скорости на входе

6.10 Построение линий тока

Для визуализации линий тока в дереве задачи выбираем пункт

Results > Graphics and Animations > Pathlines.

В поле «Release from surface» выбираем плоскость, от которой будут строиться линии тока. В поле «Color by» выбираем параметр по которому они будут раскрашиваться. В поле «Step Size» вводим значение шага между линиями, а в поле «Steps» - количество шагов, рисунок 18.

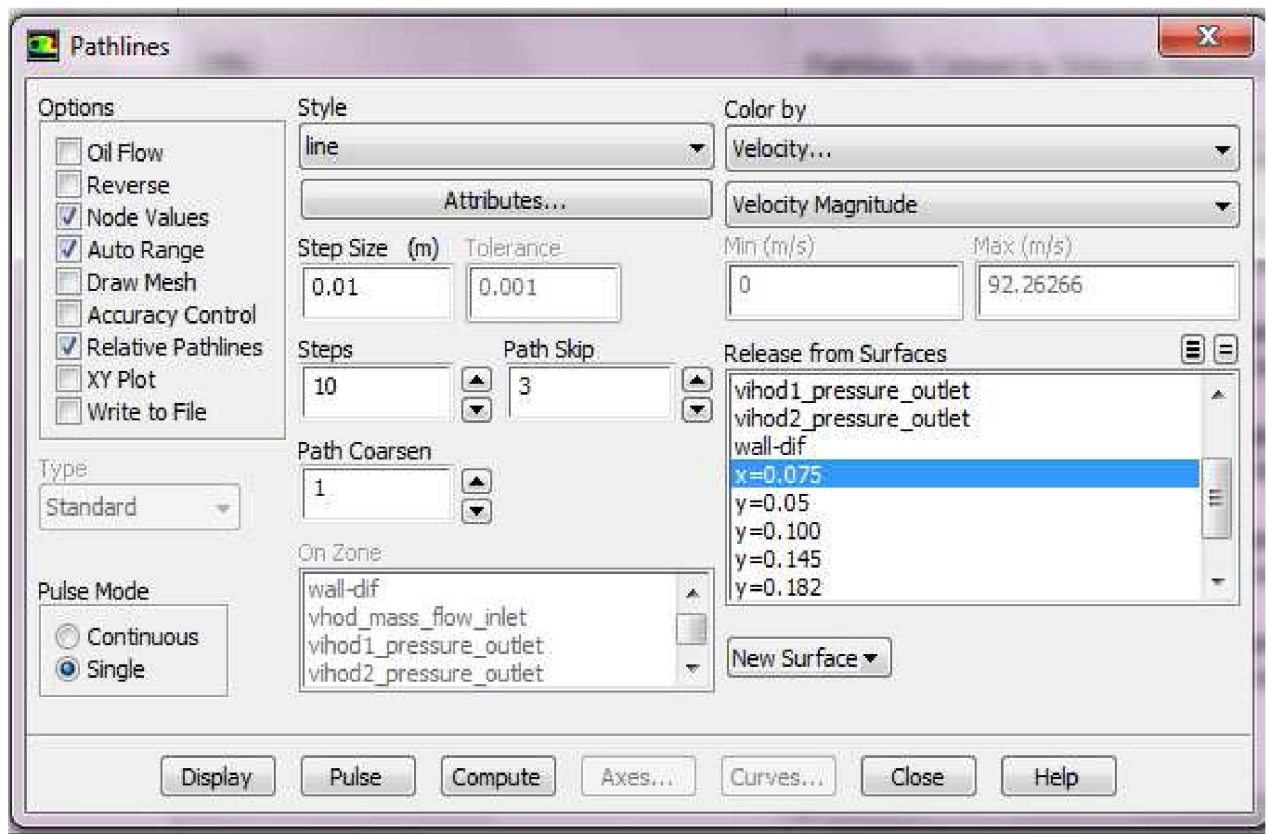


Рисунок 18 – Меню настройки отображения линий тока

После нажатие кнопки «Display» в графическом окне появится отображение линий тока, рисунок 19.

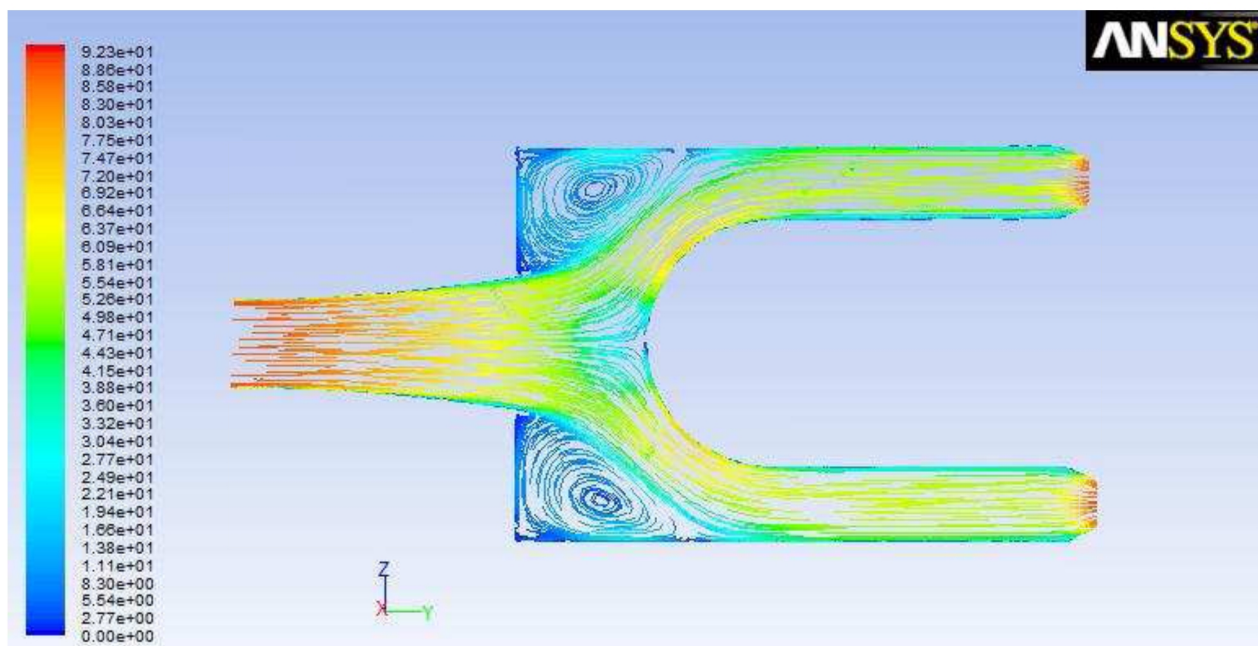


Рисунок 19 – Визуализация линий тока

7 Порядок выполнения лабораторной работы

«Расчет потоков в диффузоре камеры сгорания ГТД с использованием САЕ-систем»

Лабораторная работа выполняется в следующей последовательности:

- 1 Студент получает от преподавателя эскиз диффузора с указанием всех необходимых размеров и задание на расчет потока.
- 2 Студент проводит построение геометрической модели газодинамической области течения в диффузоре;
- 3 С помощью данного пособия студент выполняет генерацию сетки на созданной модели;
- 4 Студент выполняет расчет течений в модели диффузора и осуществляет визуализацию его результатов
- 5 Студент проводит построение графиков основных характеристик рассчитанного диффузора.
- 6 Студент выполняет отчет по выполненной работе.

8 Контрольные вопросы к отчету по лабораторной работе

1. Какие функции выполняет диффузор камеры сгорания? Каковы его основные характеристики?
2. Какие основные типы диффузоров вам известны? Назовите их достоинства и недостатки?
3. Какова последовательность построения геометрической модели области течения в диффузоре?
4. Как производится генерирование конечно-элементной сетки?
5. Перечислите основные требования к конечно-элементной сетки, вызванные особенностями работы диффузора.
6. В какой последовательности выполняется расчет течения потока в диффузоре?
7. Какие выводы вы можете сделать на основе выполненных расчетов?

Учебное издание

Матвеев С.Г., Лукачев С.В., Орлов М.Ю., Анисимов М.Ю., Зубрилин И.А.

**РАСЧЕТ ПОТОКОВ В ДИФФУЗОРЕ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ГТД С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САЕ-СИСТЕМ**

Учебное пособие

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального
образования

«Самарский государственный аэрокосмический
университет имени академика С.П. Королева»

(национальный исследовательский университет)

443086, Самара, Московское шоссе, 34.