



**Ansys**

## Динамика жидкостей и газов, теплообмен

### Базовый курс. Вычислительная газо- и гидродинамика в ANSYS CFX

 Продолжительность – 3 дня

Курс направлен на овладение базовыми навыками работы в ANSYS CFX. Курс сочетает лекционный материал и решение задач. Рассматривается устройство препроцессора, менеджера решателя, постпроцессора; импорт сеточной модели; определение расчетной области и физической модели; граничные и начальные условия; сеточные интерфейсы; языки CEL и CCL; нестационарные процессы; пористые среды; добавочные переменные; источники, файл выходных данных.

#### Краткое содержание курса:

- Введение в методологию CFD. Введение в ANSYS Workbench.
- Создание расчетной области (домена), граничных условий и источниковых слагаемых
- Анализ, полученных данных, с помощью ANSYS CFD-Post
- Настройки решателя и анализ файла выходных данных
- Сеточные интерфейсы и движущиеся зоны
- Моделирование теплообмена
- Моделирование турбулентных течений
- Моделирование нестационарных процессов
- Практические рекомендации по моделированию CFD
- Язык выражений CFX (CEL) и язык команд CFX (CCL)
- Приложение. Использование макросов, написанных с применением языка программирования Perl, для автоматизации проектов CFX.

#### Примеры:

- Течение с теплообменом в смешивающемся Т – образном канале
- Многокомпонентное течение и пост-обработка
- Околосзвуковое обтекание аэродинамического профиля NASA0012
- Ступень осевого вентилятора
- Расчет охлаждения процессора за счет естественной конвекции и излучения
- Моделирование вихревой дорожки Кармана.

## Базовый курс. Вычислительная газо- и гидродинамика в ANSYS FLUENT

 Продолжительность – 3 дня

Курс предназначен как для пользователей, не имеющих опыта использования ANSYS FLUENT, так и для пользователей, имеющих некоторый опыт и желающих систематизировать свои знания.

Основная цель курса – научить основам работы в программной среде ANSYS FLUENT, сформировать у пользователя опыт решения задач по вычислительной гидродинамике и систематизировать базовые знания в области численного моделирования течения жидкости и газа.

### Краткое содержание курса:

- Введение в методологию CFD. Обзор графического интерфейса ANSYS Fluent и основные этапы создания проекта
- Сеточные зоны и граничные условия
- Анализ результатов расчета
- Настройки решателя
- Моделирование турбулентных течений
- Моделирование теплообмена
- Практические рекомендации по моделированию CFD
- Моделирование нестационарных течений
- Приложение. Сложные физические модели: движущиеся зоны и модель динамических сеток
- Приложение. Сложные физические модели: многофазные течения.

### Примеры:

- Моделирования течения в коллекторе
- Смешивающее колено
- Смешивающий тройник. Влияние настроек решателя на результаты расчёта на примере смешивающего тройника
- Обработка результатов расчёта на примере трубного пучка
- Турбулентное обтекание обратного уступа
- Охлаждение электронной платы при наличии естественной конвекции и излучения
- Вихревая дорожка Кармана.

## Базовый курс. Моделирование процессов теплообмена в электронных устройствах в ANSYS Icepak

 Продолжительность – 3 дня

Курс ориентирован на инженеров - проектировщиков электронных систем. Рассматриваются все этапы проведения трехмерного численного анализа распределения потоков воздуха в устройстве, с учетом процессов теплообмена теплопроводностью, конвекцией, излучением.

### Краткое содержание курса:

- Введение
- Устройство интерфейса и основные этапы создания модели
- Объекты ANSYS Icepak - зоны воздуха и твердого материала
- Построение совпадающих сеток
- Настройки решателя
- Обработка результатов в ANSYS Icepak и ANSYS CFD-Post
- Объекты ANSYS Icepak - зоны заполнения компаундом, радиаторы, чипы
- Построение не совпадающих сеток
- Физические аспекты процессов теплообмена и моделирование нестационарных течений
- Параметризация модели
- Введение в ANSYS Workbench и ANSYS DM
- Передача MCAD-модели в ANSYS Icepak с использованием ANSYS DesignModeler
- Построение сетки (введение, глобальные настройки, неструктурированная гексаэдрическая сетка, сетка с преобладанием гексаэдров)
- Практические рекомендации
- Параметризация и оптимизация с использованием ANSYS DesignXplorer.

### Примеры:

- Построение геометрической модели с использованием объектов ANSYS Icepak
- Создание совпадающей сетки
- Настройка решателя, запуск расчета и анализ результатов
- Построение геометрической модели совместно с импортом ECAD-геометрии и использованием объектов ANSYS Icepak
- Создание несовпадающей сетки для модели с ECAD-геометрией
- Расчет задачи в нестационарной постановке
- Параметризация модели
- Перевод MCAD геометрии в формат для ANSYS Icepak с использованием ANSYS Design Modeler
- Построение многоуровневой сеточной модели
- Оптимизация с применением ANSYS DesignXplorer.

## Базовый курс. Основы моделирования в ANSYS FENSAP-ICE

 Продолжительность – 4 дня

Курс посвящен изучению основ моделирования осаждения капель и намерзания льда в условиях полета в специализированном пакете FENSAP ICE. Рассматривается структура программы по модулям: FENSAP — расчет аэродинамики, DROP3D — расчет осаждения капель, ICE3D — расчет намерзания льда, C3D/CHT3D — модуль расчета сопряженного теплообмена.

Рассматривается использование CFD пакетов ANSYS Fluent и ANSYS CFX для расчета аэродинамики, как альтернатива FENSAP.

Курс содержит теоретические основы используемых в программах моделей и практическое руководство по использованию ПО.

### Краткое содержание курса:

- Введение в FENSAP-ICE. Система моделирования намерзания льда в условиях полета
- Обледенение воздушных судов в полете. Основы теории
- Пользовательский интерфейс
- Аэродинамический решатель
- Модуль расчета течения
- Модуль DROP3D. Анализ осаждения капель. Некоторые хитрости при моделировании горения
- Модуль DROP3D. Переохлажденные крупные капли (SLD)
- Модуль DROP3D. Снег и кристаллы льда
- DROP3D. Пользовательский интерфейс
- ICE3D. Модуль расчета намерзания льда
- ICE3D. Интерфейс модуля расчета намерзания льда
- CHT3D. Моделирование сопряженного теплообмена (Теория)
- C3D. Модуль расчета нестационарного теплообмена
- CHT3D. Модуль расчета сопряженного теплообмена
- Использование ANSYS Fluent для расчета аэродинамики
- Руководство по использованию FENSAP-ICE.

### Примеры:

- Знакомство с интерфейсом FENSAP-ICE.
- Расчет аэродинамики профиля NACA 0012 для гладкой и шероховатой поверхностей
- Расчет прилипания капель при обтекании профиля NACA 0012
- Намерзание льда на профиль NACA 0012
- Моделирование сопряженного теплообмена ПОС мотогондолы
- Использование ANSYS Fluent для расчета аэродинамики и передача результатов в FENSAP-ICE.

## Специализированный курс. Многофазные течения в ANSYS CFX

 Продолжительность – 2 дня

В курсе рассматриваются методики расчетов многофазных течений (газ + жидкость, твердые частицы + жидкость или газ), модели, учитывающие перенос тепла и массы между фазами, необходимые для решения задач кавитации, испарения, кипения и конденсации, а также химических реакций на границе раздела фаз.

Курс предполагает знания на уровне базового курса по ANSYS CFX.

### Краткое содержание курса:

- Введение в многофазные течения
- Подходы моделирования многофазных течений
- Межфазный перенос импульса и тепла
- Моделирование течений со свободной поверхностью
- Многофазная среда в постановке Лагранжа
- Многофазная среда в расширенной лагранжевой постановке
- Межфазный массоперенос
- Обзор моделей MUSIG и DQMOM
- Гранулярные модели ANSYS CFX
- Фазовый переход в многофазных многокомпонентных течениях
- Практические рекомендации при моделировании многофазных течений в ANSYS CFX.

### Примеры:

- Течение в барботажной колонне
- Течение в барботажной колонне с учетом дополнительных эффектов
- Течение со свободной поверхностью с учетом поверхностного натяжения
- Применение алгебраической модели скольжения
- Испарение капель и лагранжева модель частиц
- Прямоугольная барботажная колонна с учетом прочих сил (Non-Drag Forces) и MUSIG
- Модель кипения на стенке
- Кавитация вокруг гидрокрыла
- Моделирования внезапной разгерметизации секции трубы
- Межфазный массоперенос для многокомпонентных жидкостей.

## Специализированный курс. Многофазные течения в ANSYS FLUENT

 Продолжительность – 2 дня

Курс посвящен вопросам моделирования многофазных течений средствами ANSYS FLUENT. Круг рассматриваемых тем включает задачи в лагранжевой и эйлеровой постановке, задачи со свободной поверхностью, дисперсной фазой (движение пузырьков, капель и твердых частиц), гранулярные течения, а также задачи межфазного тепло- и массообмена.

### Краткое содержание курса:

- Общие вопросы моделирования многофазных течений
- Метод объема жидкости (VOF)
- Модель дискретной фазы (DPM) и метод дискретных элементов (DEM)
- Эйлерова многофазная модель и газожидкостные течения
- Эйлерова многофазная модель и гранулярные течения
- Модель смеси.

### Примеры:

- Наполнение и опорожнение бака (VOF)
- Модель дискретной фазы (DPM)
- Моделирование пузырьковой колонны (Многофазная модель Эйлера)
- Моделирование равномерного псевдооживления в кипящем слое (Гранулярная модель Эйлера)
- Всплытие пузыря в суспензии (VOF модель Эйлера).

## Специализированный курс. Моделирование акустики в ANSYS FLUENT

 Продолжительность – 1 день

Курс направлен на общее понимание моделирования аэроакустики, рассматривает основные CFD подходы для решения задач в этой области и особенности их применения.

Курс содержит материалы с практическими рекомендациями относительно используемых сеточных моделей, моделей турбулентности и настроек решателя при проведении аэроакустических расчётов. Особое внимание уделено обработке результатов моделирования.

### Краткое содержание курса:

- Введение
- Вычислительная аэроакустика (CAA)
- Моделирование акустической аналогии
- Моделирование шума винта (модель Гутина)
- Моделирование широкополосного шума
- Постпроцессорная обработка акустических результатов.

### Примеры:

- Моделирование шума в ближнем поле при помощи прямого моделирования аэроакустики
- Моделирование шума в дальнем поле при помощи метода акустической аналогии
- Шум винта Гутина
- Широкополосный шум.

## Специализированный курс. Градиентная оптимизация Adjoint Solver в ANSYS Fluent

 Продолжительность – 2 дня

В курсе рассматривается методология использования градиентного оптимизатора Adjoint Solver, встроенного в ANSYS Fluent, с целью улучшения целевого параметра.

В лекционных материалах представлена подробная информация об инструментах, используемых при проведении оптимизационного расчёта, обработки результатов и способов деформации сеточной модели. В практической части курса наглядно продемонстрирован процесс создания и выполнения расчёта, рассматривается влияние заданных настроек на конечный результат.

Курс предполагает наличие знаний на уровне базового курса ANSYS Fluent.

### Краткое содержание курса:

- Вводная лекция. Основные определения и обзор рабочего процесса Adjoint Solver
- Целевые параметры
- Настройки решателя: методы дискретизации и стабилизации решения
- Обработка результатов Adjoint решения
- Инструменты оптимизации: обзор методов деформации сетки, настроек сглаживания и перемещения узлов сетки
- Дополнительные ограничения при деформации сетки
- Автоматический оптимизатор Gradient-Based Optimizer
- Создание CAD модели на базе оптимизированной сетки.

### Примеры:

- Оптимизация U-образного колена
- Оптимизация профиля NACA 0012
- Влияние настроек решателя на сходимость расчёта (на примере тела Ахмеда)
- Обработка результатов (на примере коллектора)
- Влияние различных настроек инструментов оптимизации на результат деформации сетки (на примере S-образного колена)
- Использование автоматического оптимизатора для нескольких целевых параметров и расчётных точек.

## Специализированный курс. Моделирование процессов горения в ANSYS FLUENT

 Продолжительность – 2 дня

В курсе рассматриваются модели горения предварительно перемешанных, частично перемешанных и не перемешанных компонентов.

В курсе дополнительно рассмотрены вопросы моделирования химической кинетики, взаимодействия турбулентных пульсаций с химическими реакциями, моделирования распыления жидкого топлива, горения частиц твердого топлива и поверхностных химических реакций.

Курс предполагает наличие у обучаемых знаний на уровне базового курса по ANSYS FLUENT.

### Краткое содержание курса:

- Введение в моделирование течений с химическими превращениями
- Модели переноса химических компонентов
- Горение предварительно не перемешанных компонентов
- Горение предварительно перемешанных и частично перемешанных компонентов
- Дискретная фаза
- Поверхностные реакции и образование загрязняющих веществ
- Полезные функции и приемы при моделировании горения
- Теплообмен излучением.

### Примеры:

- Перенос компонентов и горения газообразного топлива
- Применение модели горения предварительно не перемешанных компонентов
- Двумерный расчет камеры сгорания BERL 300 кВт с применением моделей Магнуссена и Laminar Flamelet
- Горение предварительно перемешанных компонентов в конической камере с применением модели конечной скорости реакций
- Моделирование пламени Sandia Flame D с помощью модели переноса плотности вероятности
- Моделирование реакций в жидкой фазе в закрытом реакторе со сталкивающимися струями с помощью нестационарной модели Laminar Flamelet
- Сложные реакции при горении твердых частиц
- Моделирование гетерогенных реакций в гранульном течении в эйлеровой постановке.
- Испарение капель жидкости в круглом канале
- Образования NOx при горении с селективной некаталитической нейтрализацией
- Моделирование горения в камере сгорания жидкостного ракетного двигателя при использовании модели реального газа
- Моделирование горения частично перемешанных компонентов при помощи модели LES и метода Thickened Flame.

## Специализированный курс. Моделирование роторных машин в ANSYS CFX

 Продолжительность – 1 день

Курс посвящен вопросам расчета проточной части роторных машин средствами Ansys CFX.

В программу курса входит рассмотрение таких вопросов, как применение движущихся систем координат, интерфейсов между стационарными и вращающимися доменами, моделирование нестационарных задач, а также вопросов, связанных с обработкой результатов расчета применительно к данному классу задач.

### Краткое содержание курса:

- Вводная лекция
- Теоретические основы. Составление уравнений в движущихся системах координат
- Единственная вращающаяся система координат
- Модель «замороженного» ротора
- Модель плоскости смешения
- Модель скользящей сетки
- Постобработка результатов расчета проточной части.

### Примеры:

- Моделирование течения между вращающимися дисками с применением единственной вращающейся системы координат
- Моделирование нагнетателя с применением модели «замороженного» ротора
- Моделирование проточной части осевой машины при помощи плоскости смешения
- Моделирование проточной части осевой машины при помощи скользящей сетки
- Работа с результатами расчета проточной части турбомшины
- Моделирование центробежного насоса с применением единственной вращающейся системы координат
- Моделирование ветровой турбины при помощи моделей «замороженного» ротора и скользящей сетки
- Применение неотражающих граничных условий при трансзвуковом обтекании лопатки.



## Специализированный курс. Моделирование теплообмена в ANSYS FLUENT

 Продолжительность – 2 дня

Курс посвящен вопросам моделирования теплообмена средствами ANSYS FLUENT. В лекционных материалах содержится значительное количество теоретической информации, а также подробно рассмотрены особенности моделирования каждого из механизмов теплообмена – теплопроводности, конвекции и излучения.

При этом особое внимание уделяется применению моделей турбулентности для расчета теплообмена в пограничных слоях. Кроме того, в курсе рассматривается методика расчета рекуперативных теплообменных аппаратов методом спаренных ячеек (Dual-Cell).

### Краткое содержание курса:

- Введение в теорию теплообмена
- Теплопроводность
- Сопряженный теплообмен
- Вынужденная конвекция
- Естественная конвекция
- Теплообмен излучением
- Инсоляция
- Моделирование теплообменных аппаратов
- Теплообмен в пористых структурах.

### Примеры:

- Вводный пример. Течение с сопряженным теплообменом через нагревательную спираль
- Моделирование излучения и естественной конвекции
- Моделирование теплообмена в автомобильной фаре с применением модели дискретных ординат и Монте-Карло
- Турбулентное течение с теплообменом в компактном теплообменнике
- Моделирование теплообмена между потоком и металлической пеной.

## Специализированный курс. Моделирование турбулентных течений в ANSYS CFX или Fluent

 Продолжительность – 1 день

Курс посвящен рассмотрению реализованного в ANSYS CFX или Fluent набора моделей турбулентности: модели вихревой вязкости, модели напряжений Рейнольдса, методики применения пристеночных функций, переходной модели и масштабируемых моделей.

В практической части курса пользователи решают несколько модельных задач.

Курс предполагает знания на уровне базового курса по ANSYS CFX или Fluent.

### Краткое содержание курса:

- Обзор инженерных моделей турбулентности
- Модели турбулентности RANS в ANSYS CFD
- Модели вихревой вязкости (Zero Equation, k-e, k-w, BSL, SST)
- Модели напряжений Рейнольдса (LRR, SSG)
- Масштабируемые пристеночные функции
- Автоматический метод переключения пристеночной функции
- Дополнительные модели турбулентности
- Модель крупных вихрей (LES)
- Модель неприсоединенного вихря (DES)
- Переходная модель (модель ламинарно-турбулентного перехода)
- Модель адаптируемого масштаба (SAS).

### Примеры:

- Течение вдоль плоской пластины с нулевым градиентом давления
- Отрывное течение в диффузоре
- Набегающая струя
- Переходное течение вокруг аэродинамического профиля.

## Специализированный курс. Моделирование химических реакций в ANSYS CHEMKIN

 Продолжительность – 2 дня

Курс посвящен вопросам моделирования детальных химических механизмов, их составлению и редуцированию. Вопросам поверхностных гетерогенных химических реакций и реакций ионного обмена. Математическое описание плазмы.

### Краткое содержание курса:

- Введение
- Интерфейс программы и общие положения
- Проблемы зажигания топливных смесей
- Сети реакторов частичного перемешивания
- Теоретические основы поверхностных реакций
- Практическое применение программы в решении задач с поверхностной химией
- Реакции ионного обмена
- Плазма
- Оптимизация химических механизмов в Reaction Workbench.

### Примеры:

- Расчет времени достижения равновесия для реакций образования оксида азота
- Расчет времени задержки воспламенения
- Расчет скорости распространения ламинарного пламени
- Расчет диффузионного факела
- Сеть реакторов для описания горения в турбине
- Каталитическое окисление CH<sub>4</sub> на платиновом катализаторе
- Моделирование системы доочистки с использованием сети реакторов
- Моделирование осаждения оксида алюминия
- Оптимизационный расчет плазменного реактора
- Редуцирование детального химического механизма в Reaction Workbench.

## Специализированный курс. Применение динамических сеток в ANSYS FLUENT

 Продолжительность – 2 дня

В курсе представлены возможности динамических сеток, реализованные в программном комплексе ANSYS Fluent. Внимание уделяется таким технологиям, как перестроение, сглаживание, послойная генерация сетки. В курсе рассматривается применение пользовательских функций (UDF) для описания движения сетки, сопряженное моделирование с подключением 6DOF решателя и другие дополнительные возможности.

### Краткое содержание курса:

- Обзор методов динамической сетки
- Типы динамических зон
- Послойное перестроение сетки
- Пружинная деформация сетки
- Локальное перестроение сетки
- Сопряженное моделирование с подключением 6DOF (решатель с шестью степенями свободы)
- Совместное использование пользовательских функции (UDFs) для динамической сетки
- Дополнительные возможности.

### Примеры:

- Послойное перестроение сетки на геометрических фигурах простейшей формы в 2D и 3D постановке
- Двумерное моделирование колебаний металлической пластины и камеры сгорания ДВС с использованием UDF и модели пружинной деформации
- Моделирование шестеренчатого насоса с использованием динамической сетки с сеточным перестроением в 2,5 постановке и использованием метода CutCell
- Моделирование героторного насоса
- Моделирование лопастного насоса.



## Специализированный курс. Применение моделей пристеночных плёнок EWF и LWF в ANSYS FLUENT

 Продолжительность – 1 день

Курс дает возможность изучить возможности модели плёнок Eulerian Wall Film (EWF) и Lagrangian Wall Film (LWF) для решения задач образования, течения и отрыва плёнки жидкости на стенке. Подходы EWF и LWF позволяют значительно снизить количество ячеек у стенки, требуемых для реального разрешения плёнки методом Volume of Fluid (VOF). Знание EWF и LWF будет полезно при решении задач пристеночной конденсации (испарения) в камерах газовых турбин, теплообменных аппаратах, на остеклении, при решении задач сепарации газожидкостных потоков, кольцевого течения жидкости в трубах, а также покраски поверхностей.

Для освоения курса необходимо предварительно пройти курс «Специализированный курс. Многофазные течения в ANSYS FLUENT».

### Краткое содержание курса:

- Улавливание жидких капель
- Перенос плёнки жидкости
- Образование капель на плёнке
- Теплообмен плёнки с газом и стенкой
- Испарение и конденсация в пристеночной зоне
- Переходы между моделями EWF, VOF и DPM
- Применение модели лагранжевых плёнок (LWF).

### Примеры:

- Образование и отрыв водяной пленки при омывании обратного уступа
- Образование и отрыв водяной пленки при омывании крыла
- Испарение плёнки топлива с противня
- Конденсация влажного воздуха в теплообменном аппарате
- Конденсация газообразной фазы на стенке термосифона с помощью пользовательских функций
- Предотвращение запотевания стёкол кабины
- Моделирование туманоуловителя с помощью переходов между моделями EWF, VOF и DPM
- Моделирование окраски изделия распылением с помощью модели LWF.

## Специализированный курс. Применение функций пользователя (UDF) в ANSYS FLUENT

 Продолжительность – 2 дня

В курсе рассматривается применение различных дополнительных функций, создаваемых пользователем на языке C для расширения функционала ANSYS FLUENT.

Такие функции могут применяться для самых различных целей – от создания нестандартных источников и граничных условий до реализации собственных физических моделей.

В минимально необходимом для полноценной работы объеме в курсе рассматриваются основы программирования на языке C. Также отдельное внимание уделяется внутренним типам данных Fluent, а также особенностям взаимодействия пользовательских функций и основной программы.

### Краткое содержание курса:

- Введение. Основы программирования, синтаксис и типы данных
- Компиляция и интерпретация пользовательских функций
- Применение макросов DEFINE
- Применение пользовательских переменных
- Пользовательские функции для параллельных вычислений
- Применение параметров Workbench совместно с пользовательскими функциями
- Пользовательские функции для многофазных течений
- Пользовательские функции для модели дисперсной фазы.

### Примеры:

- Задание профиля температуры в качестве граничного условия
- Задание дополнительного источника энергии в сеточной зоне
- Пользовательские ячейки памяти. Запись и обработка произвольных величин
- Запись в текстовый файл
- Применение UDF при параллельных вычислениях
- Течение в канале с пористой преградой
- Течение в канале с синусоидальным распределением температуры вдоль стенки
- Применение нестандартной зависимости вязкости жидкости от температуры
- Моделирование переноса определенной пользователем скалярной переменной
- Пользовательские функции для изменения констант в эмпирическом законе сопротивления частиц
- Моделирование выпадения осадка в осветлителе с применением пользовательских функций
- Управление динамической сеткой при помощи пользовательских функций.