

# ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ИНЖЕНЕРНОМ АНАЛИЗЕ

*Лекция 15*

Болдырев Ю.Я., Замотин К.Ю., Петухов Е.П.

Санкт-Петербургский Государственный  
Политехнический Университет

[boldyrev@phmf.spbstu.ru](mailto:boldyrev@phmf.spbstu.ru)

# Классификация программных комплексов

2

- ❑ Решение междисциплинарных задач, сочетающих в себе взаимодействие процессов различной природы (например, ANSYS Multiphysics)
- ❑ Решение задач механики твердого деформированного тела (ANSYS Mechanical, LS-Dyna, MSC.Nastran)
- ❑ Решение задач гидроаэродинамики (например, ANSYS CFD, FlowVision, StarCD, OpenFOAM)
- ❑ Проектирование и программирование оборудования
- ❑ Электротехнические расчеты
- ❑ Расчеты в области геодезии, геологии, землеустройства
- ❑ Расчеты в области химии и т.д.

# Линейка программных комплексов компании ANSYS

3

- Один из наиболее крупных и широко востребованных программных комплексов, используемых специалистами в области инженерного анализа и проектирования
- Программный комплекс используется для конечно-элементного решения
  - / линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных пространственных и плоских задач механики деформируемого твёрдого тела и механики конструкций (включая нестационарные геометрически и физически нелинейные задачи контактного взаимодействия элементов конструкций),
  - / задач механики жидкости и газа, теплопередачи и теплообмена, электродинамики, акустики, а также механики связанных полей.

# Линейка программных комплексов компании ANSYS

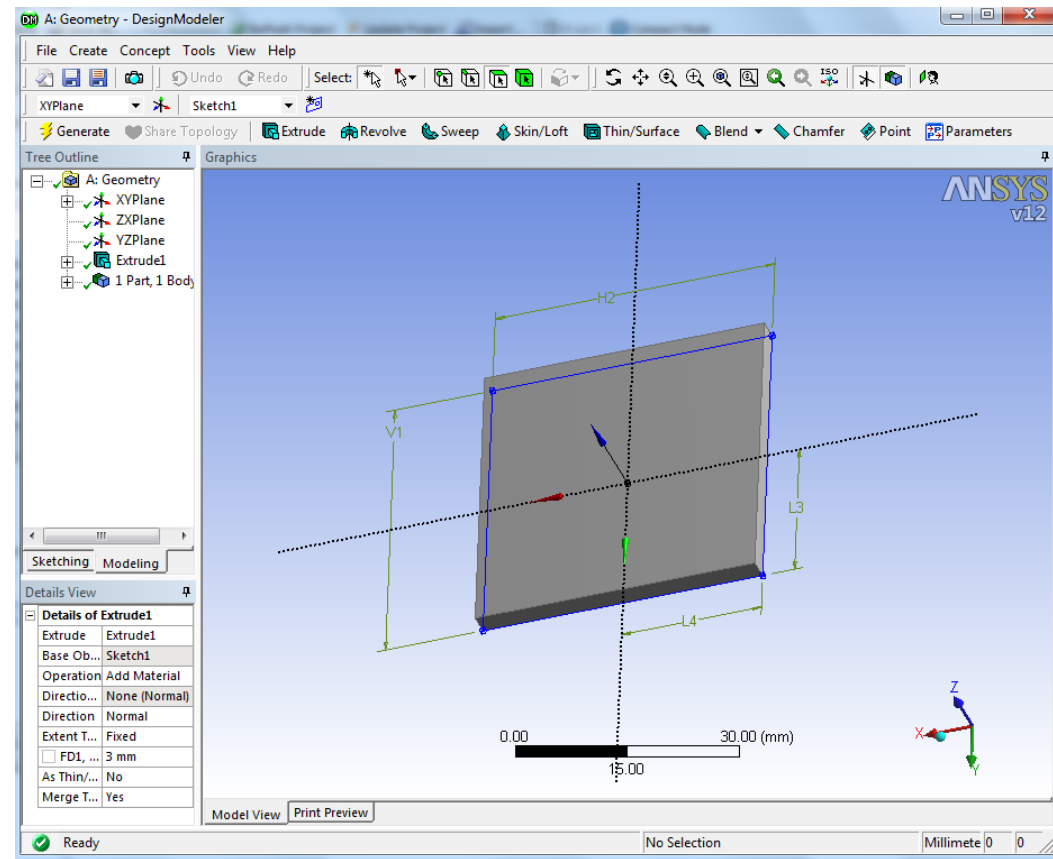
4

- ❑ Комплекс ANSYS работает под различными ОС, как то Windows, Linux и др.
- ❑ ANSYS сопрягается с большинством распространенных CAD-системам: Unigraphics, CATIA, Pro/ENGINEER, SolidEdge, SolidWorks, Autodesk Inventor
- ❑ Программный комплекс ANSYS включает в себя различные программные пакеты, каждый из которых ориентирован на решение своих классов задач. Рассмотрим более подробно некоторые из НИХ

# ANSYS Workbench

5

- Платформа Workbench была создана для разработки и интеграции линейки программных продуктов ANSYS, прикладных пользовательских и написанных сторонними разработчиками программ инженерного анализа в едином информационном пространстве проекта



Интерфейс ANSYS Workbench для создания геометрической модели

# ANSYS Workbench

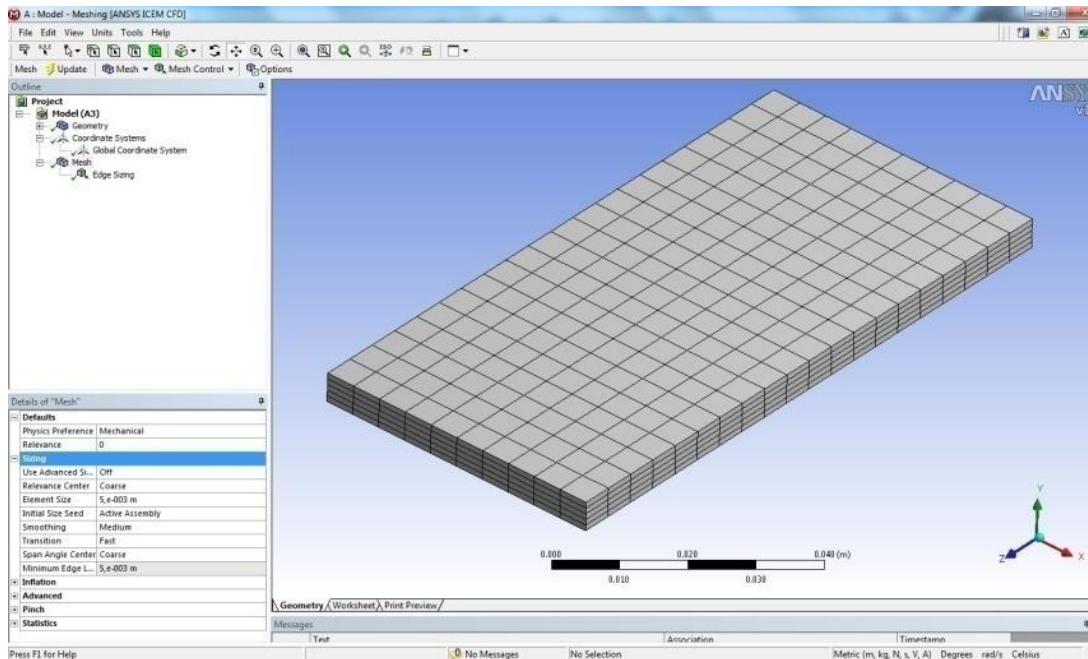
6

- Один из принципов работы среды - интеграция, управление и обмен данными между разнообразными приложениями внутри единого информационного пространства текущего проекта инженерного анализа и проектирования, а также интеграция и ассоциативная взаимная связь с CAD на основе их программного интерфейса.
- В ANSYS Workbench возможно использование данных для расчёта в формате XML (eXtensible Markup Language)
- Предусмотрена поддержка написания расчётных сценариев на языках VBScript, JavaScript, HTML и др., а также написание пользовательских приложений с помощью Workbench SDK (Software Development Kit) - набора инструментов разработки программного обеспечения.

# ANSYS Workbench

7

- Платформа ANSYS Workbench разработана с целью объединить всю линейку коммерческих программных продуктов ANSYS в единую вычислительную среду
- От версии к версии добавляются функциональные возможности каждого из существующих модулей



Интерфейс ANSYS Workbench для создания конечно-элементной модели

# Список модулей, работающих под программной платформой ANSYS Workbench

8

- **DesignModeler** - модуль для работы с геометрическими моделями с использованием объектно-ориентированных средств управления. Этапы работы с геометрической моделью имеют структурное представление в виде дерева.
- **DesignSimulation** - расчётный модуль. Процесс расчёта выполняется с использованием объектно-ориентированных средств управления. Все этапы расчёта имеют структурное представление в виде дерева.
- **DesignXplorer** и **DesignXplorer VT** - модули параметрической оптимизации.



# Список модулей, работающих под программной платформой ANSYS Workbench

9

- **FE Modeler** - модуль для работы с КЭ моделями, полученными при импорте данных входного файла NASTRAN или данных КЭ расчётной модели модуля DesignSimulation.
- **Advanced Meshing** - модуль для разработки геометрии и КЭ модели, имеющий функциональные возможности ICEM CFD и AI Environment.
- **CFX-Mesh** - модуль, решающий задачу создания конечно – элементной сетки для последующего гидрогазодинамического анализа в программных продуктах CFX.

# Список модулей, работающих под программной платформой ANSYS Workbench

10

- **ANSYS Fatigue Module** - данный модуль позволяет оценить работоспособность конструкции при циклическом пропорциональном нагружении с постоянными либо переменными амплитудами. Возможен поэлементный вывод ресурса и долговечности, поврежденности, коэффициентов безопасности, главных и эквивалентных напряжений, а также параметров чувствительности.
- **Advanced CFD** - функциональные возможности программных продуктов CFX.

# ANSYS Workbench

11

- Программная платформа ANSYS Workbench позволяет в едином информационном пространстве интегрировать модули для проведения связанного междисциплинарного анализа. Тем самым ликвидируются затраты как на передачу данных из одного приложения в другое на уровне текстовых файлов, так и на интерпретацию файлов результатов при переходе из одной системы в другую.
- Используя модуль ANSYS Workbench SDK, пользователь получает доступ к средствам создания специализированных шаблонов для типовых задач своего предприятия и может интегрировать свои расчётные приложения в рабочую среду ANSYS Workbench.

# ANSYS Multiphysics

12

ANSYS Multiphysics - это наиболее полная комплектация вычислительного комплекса, он рассчитан на решение задач из различных физических дисциплин, таких как

- / прочность и теплопроводность,
- / электромагнитный анализ, магнитостатика, электростатика, электропроводность,
- / низкочастотный гармонический анализ, высокочастотный анализ,
- / гидрогазодинамика (модуль CFX-Flo: стационарная и нестационарная, сжимаемые и несжимаемые, ламинарные и турбулентные потоки; естественная и вынужденная конвекция, сопряженный теплоперенос; вязкие и многокомпонентные течения; фильтрация)

# ANSYS Multiphysics

13

В дополнительном модуле параллельных вычислений Parallel Performance доступно четыре решателя для параллельных вычислений:

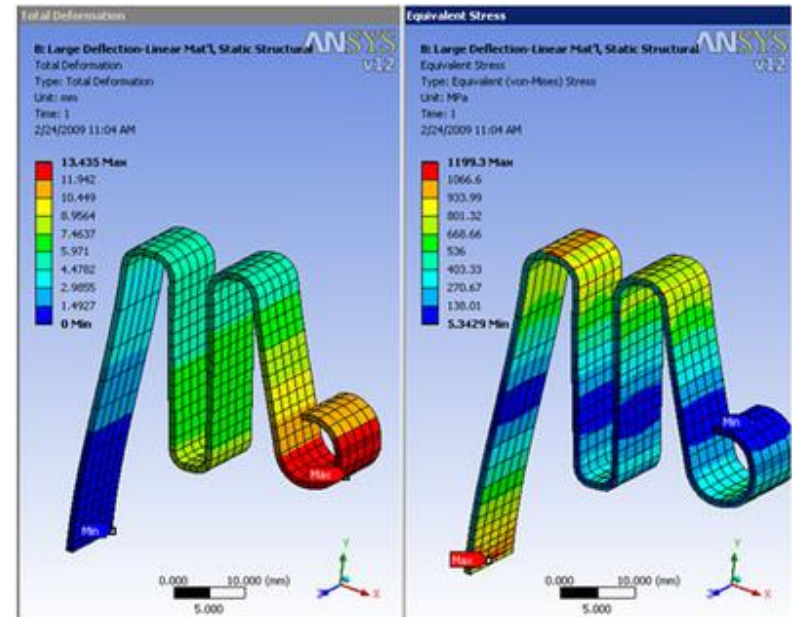
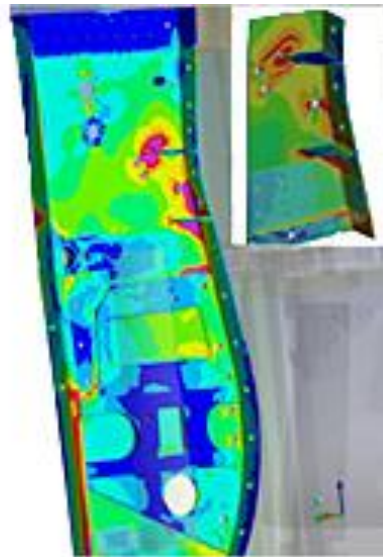
- DPCG (distributed preconditioned conjugate gradients) предопределенных сопряженных градиентов;
- DJCG (distributed Jacoby conjugate gradients) сопряженных градиентов Якоби;
- DSS (distributed domain solver) ;
- AMG (algebraic multigrid) алгебраический многосеточный.

Параллелизация вычислений возможна на 32 и на 64 разрядных вычислительных системах, с использованием всех основных платформ Itanium 2, XeonEM64T, AMD Opteron и других.

# ANSYS Mechanical

14

- Решение широкого круга инженерных задач, связанных с механикой твердого и деформируемого тела, в первую очередь, для проведения прочностных расчётов и анализа термонапряженного состояния



# Основные расчётные возможности ANSYS Mechanical

15

- Решение прочностных задач
  - / статика, собственные частоты и формы колебаний, критические частоты вращения, гармонический и переходной анализ, переходные процессы, спектральный анализ, устойчивость конструкций, линейные и нелинейные расчёты
- Решение задач с геометрической нелинейностью
  - / большие деформации, большие прогибы, напряжённая жесткость, размягчение при вращении

# Основные расчётные возможности ANSYS Mechanical

16

## □ Решение контактных задач

- / различные типы контакта, элементы типа "поверхность-поверхность", "узел-поверхность" и "узел-узел", контакт деформируемых тел и деформируемого тела с жестким телом, контакт с трением, температурные перепады, электрические и магнитные задачи, точечная сварка

## □ Решение задач теплопередачи

- / стационарные и нестационарные задачи, теплопроводность, теплообмен конвекцией, теплообмен излучением, фазовые превращения, учёт массопереноса



# ANSYS Mechanical

17

- Богатая библиотека моделей материалов, возможность задания пользовательских материалов и материалов со свойствами, зависящими от температуры
- Реализовано множество типов конечных элементов
  - / 2D и 3D объемные конечные элементы («солиды»)
  - / оболочечные элементы, балочные, трубчатые
  - / гиперупругие, связанные междисциплинарные, оболочки и солиды для тепловых задач, контактные, элементы стыков (уплотнения), элементы поверхностного эффекта
  - / элементы, поддерживающие опцию "рождение-смерть"

# ANSYS CFD

18

- ANSYS Fluent и ANSYS CFX
- Решения задач гидрогазодинамики общего назначения
- Оба комплекса построены на методе контрольных объемов и используют решатель по давлению
- Основные отличия состоят в способе интегрирования уравнений течения жидкостей и в стратегиях решения уравнений

# ANSYS CFX

19

- Полностью интегрирован в платформу ANSYS Workbench
- Использует сеточные области, построенные на основе метода конечных элементов (числовые значения в *узлах* сетки)
- Упор сделан на решение основных уравнений движения
- Высоко масштабируемый (модуль ANSYS CFD HPC)

# ANSYS CFX

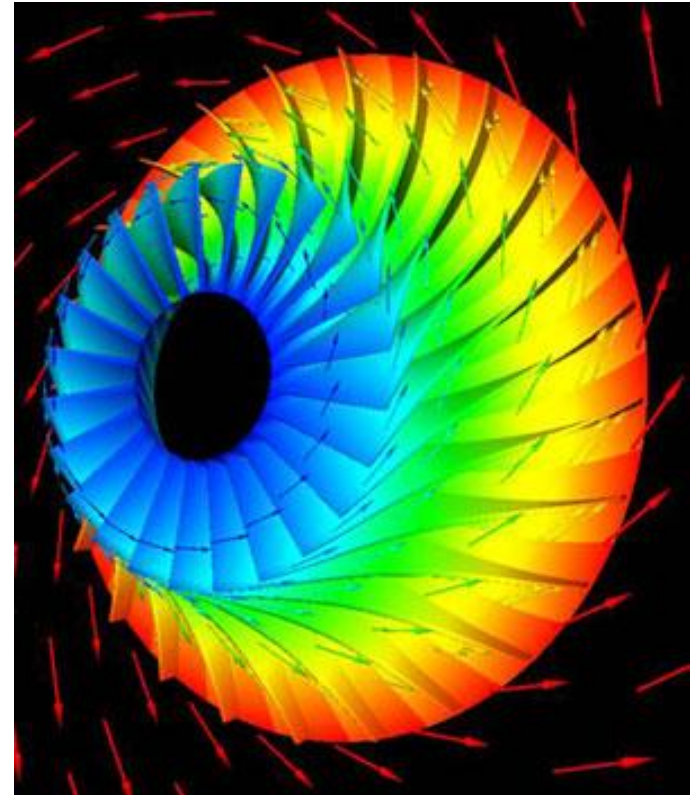
20

- Анализ гидрогазодинамических процессов, многофазных потоков, химической кинетики, горения, радиационного теплообмена и многих других
- Отличительные особенности
  - / совместное решение уравнений сохранения момента и массы
  - / практически линейная зависимость времени счёта от размеров модели
  - / высокие характеристики масштабируемости при проведении параллельных расчётов.

# ANSYS CFX

21

- широкий спектр моделей турбулентности
- возможность учитывать тепло и массопередачу
- разнообразные модели горения



характерная картина течения в центробежном компрессоре

# ANSYS Fluent

22

- Анализ широкого спектра промышленных задач динамики жидкости и газа, с учётом теплообмена (конвективного и радиационного)
- Использует сеточную область, построенную на основе метода конечных объемов (числовые значения в *центрах* ячеек)
- Предлагает несколько подходов, связанных с вычислительной технологией (метод на основе плотности, расщепленный метод на основе давления, сопряженный метод на основе давления)

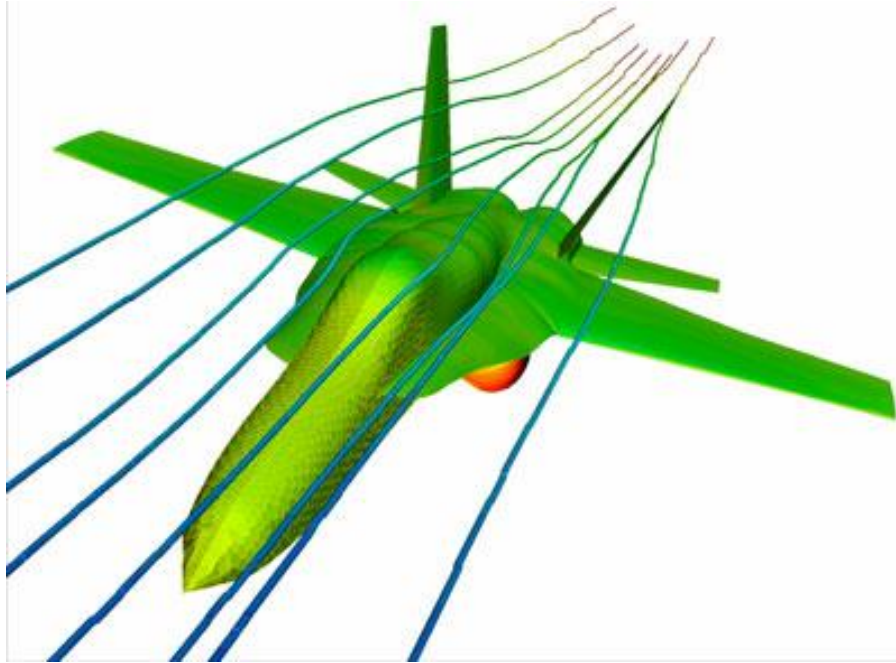
# ANSYS Fluent

23

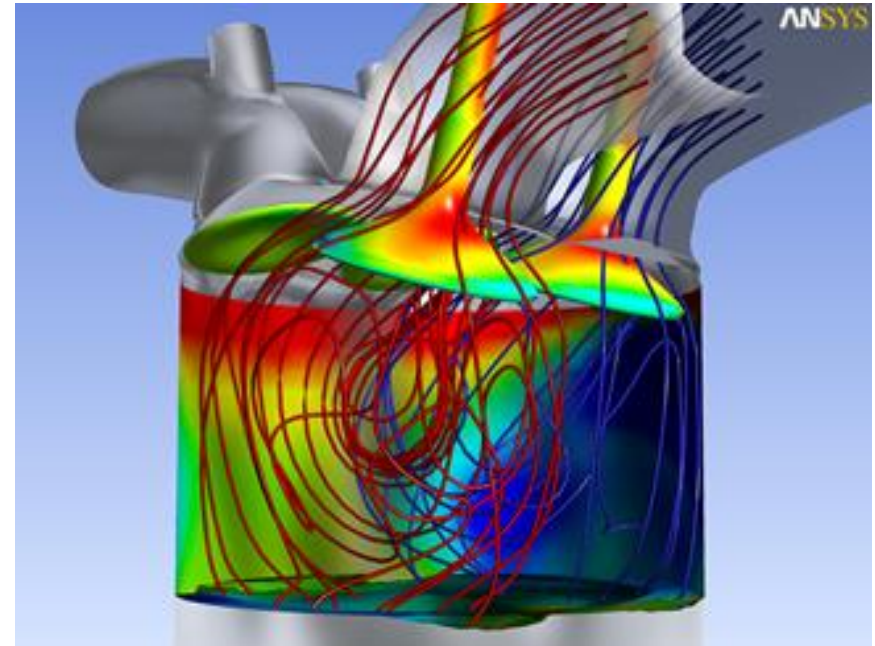
- Модели для течений в пористых средах
- Возможность задания пользовательских объемных источников массы, импульса, энергии и др.
- Модели фазового перехода для задач плавления и затвердевания
- Модели вентиляторов, радиаторов и теплообменников
- Множество моделей турбулентности
- Специализированный постпроцессор, который содержит дискретные преобразования Фурье

# ANSYS Fluent

24



результаты расчетов внешнего  
обтекания фюзеляжа самолета



результаты моделирования течения  
в двигателе внутреннего сгорания



# ANSYS LS-DYNA

25

- Многоцелевой конечно-элементный расчётный комплекс для проведения динамических расчётов *явным методом*, реализованный в едином графическом интерфейсе с комплексом ANSYS Mechanical
- Отличительной особенностью комплекса является надёжность и работоспособность при *очень больших деформациях*
- Основная область использования - расчёт нелинейных динамических переходных процессов
- Комплекс эффективен для расчётов различных типов контактного взаимодействия

# ANSYS LS-DYNA

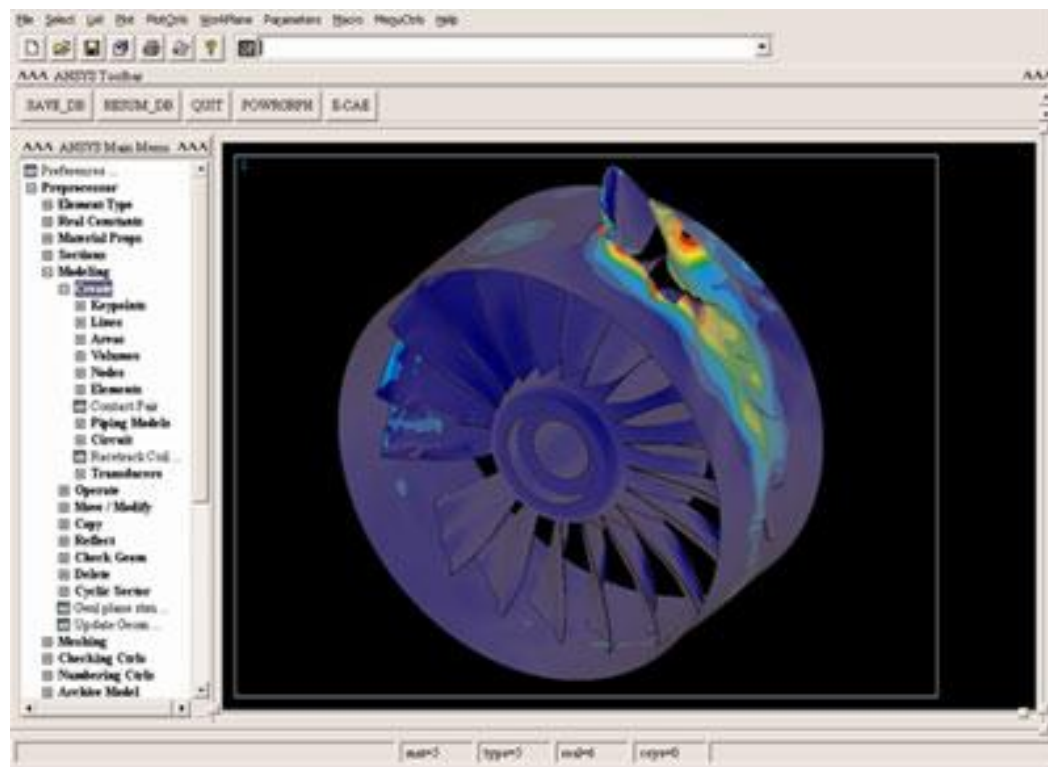
26

- Поддерживаются последовательные явно- неявное и неявно-явное решения
- Реализована поддержка смешанной Лагранжево-Эйлеровой формулировки (ALE, Arbitrary Lagrangian-Eulerian)
- Полная версия LS-DYNA включает в себя специальные модели для краш-тестов и взрывов
  - / подушки и ремни безопасности
  - / манекены
  - / взрывчатка и т.д.

# ANSYS LS-DYNA

27

- анализ разрушения
- производственные процессы
- расчёт контактных ударных
- нелинейная устойчивость и несущая способность
- распространение звуковых волн



расчёт процесса пробивания  
оторвавшейся лопаткой  
корпуса вентилятора

# ANSYS AUTODYN

28

Программный комплекс, предназначенный для решения задач нестационарной нелинейной динамики

Характерные области применения:

- / расчёт образования осколков при подрыве заряда взрывчатого вещества в корпусе, расчёт подрыва здания
- / взаимодействие взрывной волны с конструкциями
- / расчёт распространения фронта ударной волны
- / гиперзвуковой удар, расчёт пробития пульей преграды
- / расчёт столкновения самолета с птицей
- / расчёт на стойкость к воздействиям конструкций из углепластика
- / расчёт связанных задач жидкость-конструкция

# ANSYS ASAS

29

- Программный комплекс ASAS позволяет рассчитать прочность, устойчивость, несущую способность и усталостную долговечность силовых элементов плавучих нефте-газодобывающих платформ
- Специализированные средства для прочностных расчётов на основе метода конечных элементов, модули для линейных и нелинейных типов расчётов
- Возможность рассчитывать пространственные и стержневые конструкции
- Многоуровневые суперэлементные технологии, позволяющие использовать большие по размерности конечно-элементные модели

# ANSYS ASAS

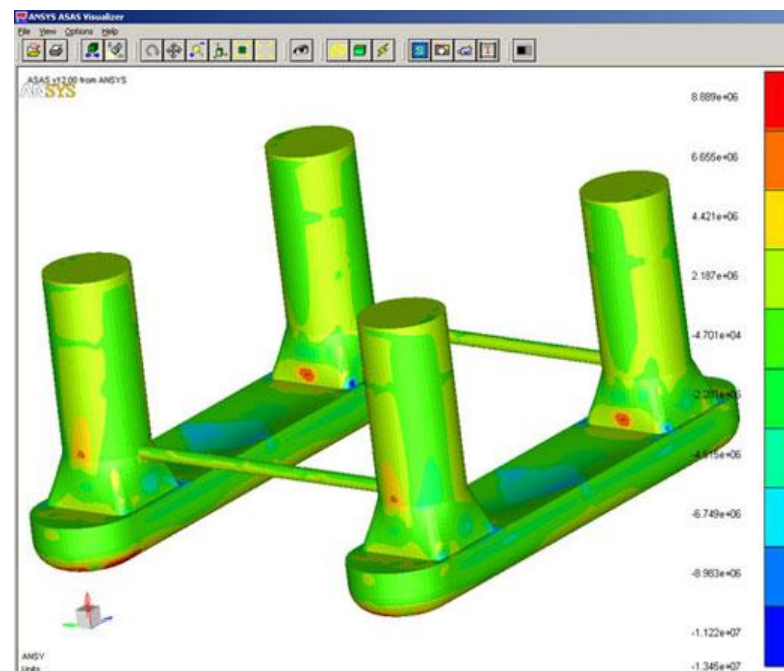
30

- Возможность задания гибкости в сочленениях для стержневых моделей
- Реализованы средства проведения проверки по соответствию расчётной модели нормам для балочных, оболочечных и бетонных конструкций
- Для соединений возможен расчёт на усталостную долговечность
- Имеется возможность задавать стационарную и нестационарную волновую нагрузку
- Предусмотрена возможность экспорта данных в среду MS-EXCEL и в комплекс Mathcad

# Компоненты ANSYS ASAS

31

- ASAS-WAVE/MASS - программа для вычисления волновой нагрузки и присоединенной массы
- блок SPLINTER для расчёта взаимодействия модели грунт-свая-платформа
- программа BEAMST для проверки балочных элементов конструкции
- FATJACK - программа для усталостного анализа для трубчатых элементов конструкции



Визуализация результатов расчёта в ANSYS ASAS Visualizer для модели полупогружённой нефтегазодобывающей платформы

# ANSYS AQWA

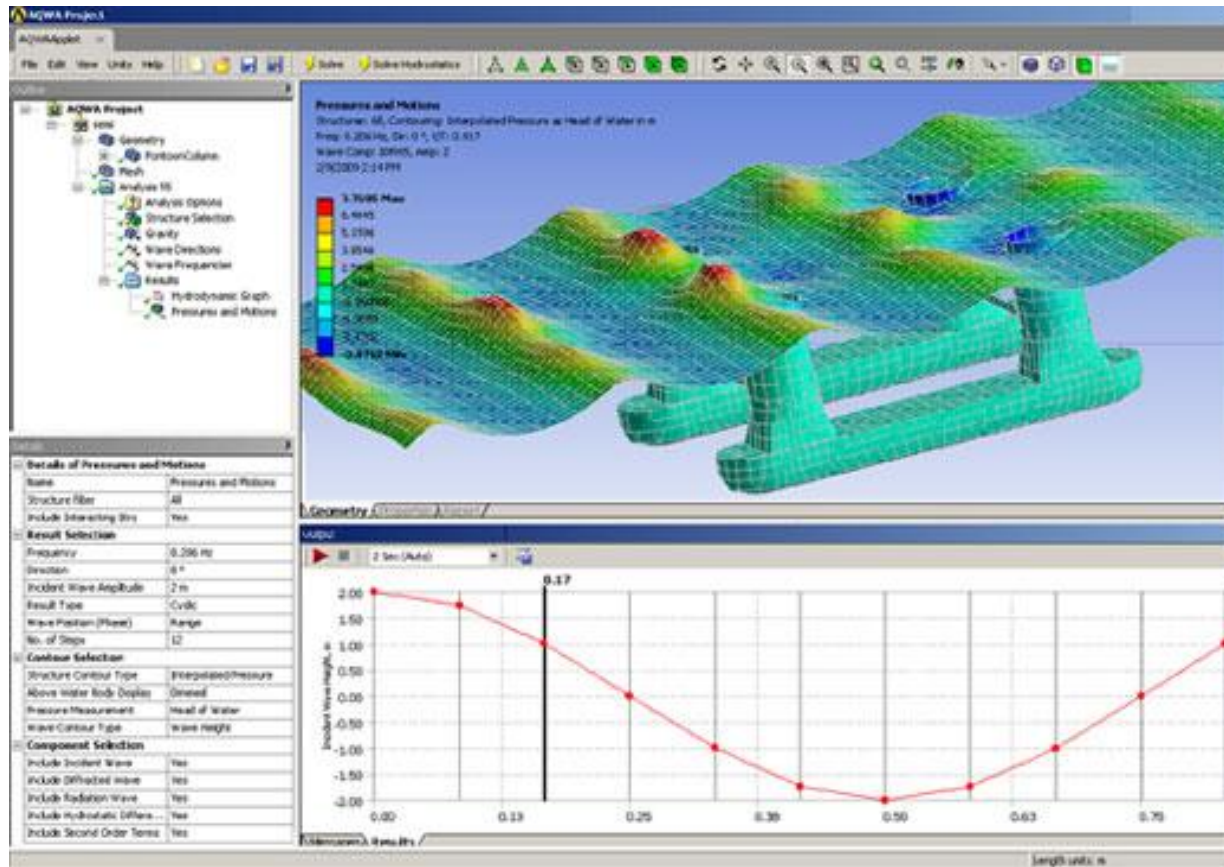
32

- Семейство специализированных модулей для решения задач вычислительной гидродинамики, применительно к плавучим объектам различного назначения
  - / плавучие системы нефтедобычи, хранения и выгрузки
  - / морские основания с натяжным вертикальным якорным креплением
  - / крупнотоннажные суда
- Реализована возможность последующей передачи результатов расчётов для анализа напряженно-деформированного состояния



# ANSYS AQWA

33



Импорт модели платформы в расчётный модуль ANSYS AQWA Diffraction, создание сетки, выполнение расчёта и анализ результатов

# Модули ANSYS AQWA

34

- **AQWA-LINE** - модуль, вычисляющий параметры волн при взаимодействии их с плавучими объектами произвольной формы
- **AQWA-LIBRIUM** - модуль расчёта статической и динамической устойчивости плавающих конструкций, пришвартованных к пирсам
- **AQWA-FER** - модуль частотного анализа характеристик движения, а также возникающих нагрузок плавающих пришвартованных конструкций при нерегулярном характере распространения волн

# Модули ANSYS AQWA

35

- **AQWA-NAUT** - модуль нелинейного переходного частотного анализа поведения плавающих конструкций при распространении регулярных больших волн (расчёт при шторме);
- **AQWA-DRIFT** - модуль переходного частотного анализа поведения плавающих конструкций при длительной последовательности распространения нерегулярных волн (включая возможность анализа медленного дрейфа)

# Модули ANSYS AQWA

36

- **AQWA-TETHER** - модуль связанных расчётов напряженно-деформируемого состояния и усталостной долговечности для морских оснований с натяжным вертикальным якорным креплением, может также применяться для расчёта буксировочных фалов
- **AQWA-SOLAR** - модуль, вычисляющий характеристики движения и учитывающий историю нагружения для определенного типа конструкций

# Литература

37

- Колмогоров А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа. Москва, “Наука”, 1989, 624 с.
- Ладыженская О.А. Краевые задачи математической физики. Москва, “Наука”, 1973. 408 с.
- Самарский А.А. Теория разностных схем. Москва, “Наука”, 1989, 616 с.
- Самарский А. А., Михайлов А. П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. — 2-е изд., испр. - М.: Физматлит, 2001. — 320 с. — ISBN 5-9221-0120-X.
- Численное моделирование турбулентного горения природного газа в топочном пространстве котла Сургутской ГРЭС – 1. Комплекс работ СПбГПУ с ЗАО «Экотоп», 2005-2010 гг. (Снегирёв А.Ю., Липьянен А.Л., Лупуляк С.В., Шиндер Ю.К.).
- Снегирёв А.Ю., Талалов В.А. Теоретические основы пожаро- и взрывобезопасности. Диффузионное горение газов. Санкт-Петербург, Изд-во СПбГПУ, 2008, 212 с.

# Литература

38

- Фролов А.С., Снегирёв. А.Ю. Численное моделирование турбулентного диффузионного пламени. СПбГПУ: Выпускная работа бакалавра, 2008.
- Фролов А.С., Снегирёв. А.Ю. Численное моделирование естественно-конвективного пламени методом крупных вихрей. СПбГПУ: Диссертация на соискание степени магистра, 2010.
- CALS (Continuous Acquisition and Life cycle Support) – непрерывная информационная поддержка жизненного цикла изделия) в авиастроении / А.Г. Братухин, Ю.В. Давыдов, Ю.С. Елисеев, Ю.Б. Павлов, В.И. Суров; под ред. А.Г. Братухина – М.: Изд-во МАИ, 2000. – 304 с.
- Болдырев Ю.Я. «Компьютерные и суперкомпьютерные технологии для инженерного анализа и естественных наук», Труды Всероссийской научной конференции - научный сервис в сети Интернет стр. 13, 2005 г. Новороссийск.

# Литература

39

- Болдырев Ю.Я. «Высокопроизводительные вычисления и реальный физический мир» Всероссийская Научная Конференция «Научный сервис в сети Интернет» Секция «*Технологии распределенных вычислений*». стр. 37-38, М. - Абрау, 19-23 сентября 2006 г.
- Болдырев Ю.Я., Липьяйнен А.Л., Лупуляк С.В., Петухов Е.П., Снегирёв А.Ю., Шиндер Ю.К. «О совместном проекте Санкт-Петербургского государственного политехнического университета и компании Microsoft в области высокопроизводительных вычислений». Труды Всероссийской научной конференции «Научный сервис в сети Интернет: решение больших задач. 22-27 сентября 2008 г., Абрау-Дюрсо.
- Ю.Я. Болдырев, А.Л. Липьяйнен, С.В. Лупуляк, Е.П. Петухов, А.Ю. Снегирёв, Ю.К. Шиндер «Опыт работы лаборатории прикладной математики и механики СПбГПУ в области решения ресурсоемких промышленных приложений на суперкомпьютерах» Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ 2008), Труды международной научной конференции, 28 января – 1 февраля 2008 г., СПб, Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2008

# Литература

40

- Болдырев Ю.Я., Нечуятов А. А. «Опыт применения компьютерных технологий инженерного анализа и проектирования при решении сложных проектно-конструкторских задач » Международная Научная Конференция. И-Б-М. МОСКВА 19-21 июня 2007 г. стр. 87-88.
- Болдырев Ю.Я., Замотин К.Ю., Петухов Е.П., Уланов А.И., Шиндер Ю.К. «Суперкомпьютинг как важнейшее направление технологического прорыва» Тр. XVI Межд. конференции «Высокие интеллектуальные технологии и инновации в образовании и науке». 2009, СПбГПУ. С. 100-104.
- Ковтун М.В. «Математическое моделирование процесса клепочного соединения крыла и фюзеляжа самолета» Труды Всероссийской научной конференции - научный сервис в сети Интернет: решение больших задач, г. Новороссийск, 2008.
- Колчин А.Ф., Стрекалов А.Ф. и др. Управление жизненным циклом продукции. М.: Анахрасис.2002 г.303 с.



# Литература

41

- <http://www.ansys.com/> (ANSYS Inc.)
- <http://ru.wikipedia.org/wiki/ANSYS>
- <http://www.ansys.msk.ru/>
- [www.lsdyna.com](http://www.lsdyna.com) (Livermore Software Technology Corporation)
- <http://www.autodyn.ru/>

# Литература

42

- <http://www.mscsoftware.ru/products/nastran>
- <http://www.thesis.com.ru/>
- <http://www.flowvision.ru/>
- [http://www.simulia.com/products/abaqus fea.html](http://www.simulia.com/products/abaqus_fea.html)
- <http://www.3ds.com/>
- <http://cae.ustu.ru/cont/soft/abaqus.htm>
- <http://www.thesis.com.ru/software/abaqus/>
- <http://www.numeca.com/>
- <http://www.numeca-ru.com/>
- <http://web.mit.edu/2.016/www/handouts/2005Reading6.pdf>
- <http://www.thesis.com.ru/software/abaqus/applian.php>