

ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ИНЖЕНЕРНОМ АНАЛИЗЕ

Лекция 16

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

Санкт-Петербургский Государственный
Политехнический Университет

boldyrev@phmf.spbstu.ru

NASTRAN

2

NX Nastran – комплекс для инженерных расчётов в области механики твёрдого и деформируемого тела от компании Siemens PLM Software

- интерфейс для различных программных систем NX CAE, который позволяет интегрировать CAE-системы, включая ANSYS, ABAQUS, Nastran и LS-DYNA, в единую среду проектирования
- области применения: линейный и нелинейный анализ, анализ роторной динамики, проектирование электромеханических систем, литейных форм, оснастки, электродов

NASTRAN

3

MSC Nastran – комплекс для расчётов в области механики твердого и деформируемого тела от компании MSC Software

- расчёт напряженно-деформированного состояния, запаса прочности, собственных частоты и форм колебаний, решение задач теплопередачи, анализ сложного контактного взаимодействия и пр.
- эффективный аппарат автоматической оптимизации параметров, формы и топологии конструкций
- специальные возможности моделирования динамики роторных машин

NASTRAN

4

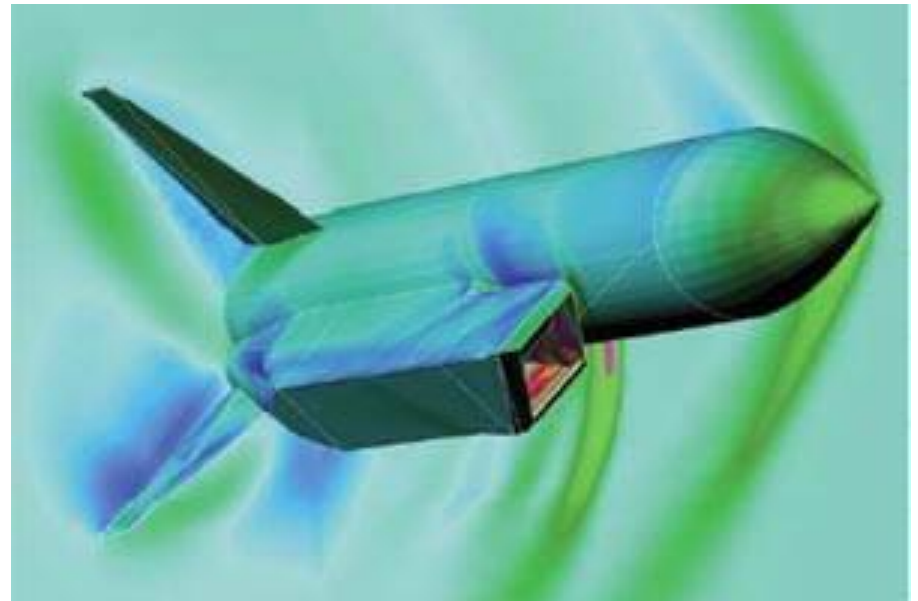
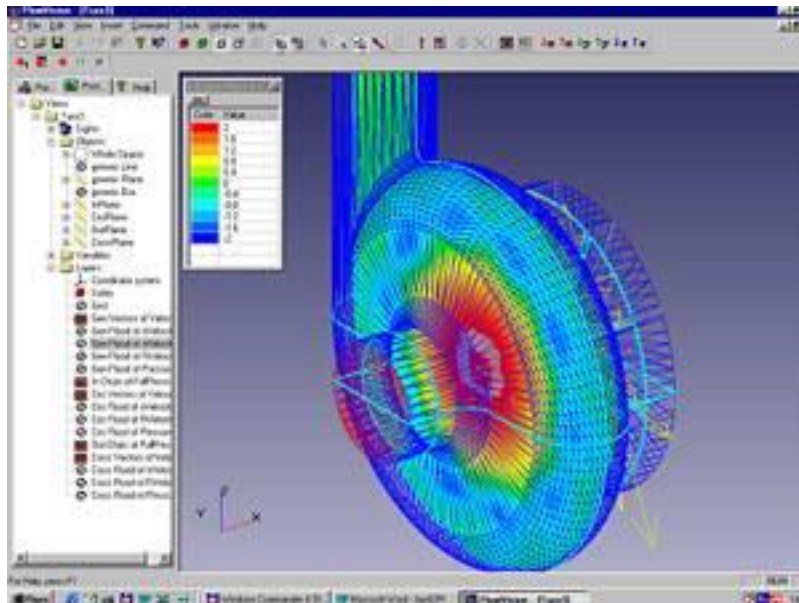
MD Nastran (от Multi Discipline Nastran – «междисциплинарный» Nastran) – комплекс, объединяющий системы математического моделирования для инженерного анализа, включая MSC Nastran, Marc, Dytran и LS-DYNA в одну полностью интегрированную систему для проведения междисциплинарного моделирования в масштабах крупного проекта.

□ В MD Nastran входит решатель SOL 700 (для явного нелинейного анализа), инструменты для решения задач внешней акустики, расширенный нелинейный статический и динамический решатель SOL 400 (неявный), алгоритмы решения контактных задач в рамках линейного и нелинейного анализа и т.д.

FlowVision

5

- продукт российской компании «ТЕСИС»
- безусловный российский лидер численного моделирования стационарных и нестационарных течений жидкости и газа



Возможности FlowVision

6

- решение сопряжённых задач взаимодействия потока с деформируемым телом,
- расчёт совместного движения свободной поверхности и плавающих тел,
- автоматическое построение сетки для расчётных областей любой степени сложности,
- возможность локального дробления и укрупнения ячейки сетки в соответствии с заданными критериями адаптации.

FlowVision

7

- Программный комплекс FlowVision позволяет решать трехмерные уравнения динамики жидкости и газа: уравнения Навье-Стокса (законы сохранения массы и импульса) и уравнение переноса энтальпии (закон сохранения энергии).
- При расчёте сложных течений, сопровождаемых дополнительными физическими процессами (турбулентность, горение, движение контактных границ, и т. д.), решаются дополнительные уравнения, описывающие эти процессы.

Компьютерные технологии в FlowVision

8

- прямоугольная сетка с локальным измельчением расчётных ячеек;
- аппроксимация криволинейных границ расчётной области методом подсеточного разрешения геометрии;
- импорт геометрии из системы автоматизированного проектирования или конечно-элементной программы в виде поверхностной сетки (связанных треугольников);
- язык программирования C++;
- клиент - серверная архитектура;
- пользовательский интерфейс, написанный для операционных систем Windows и Linux;
- высококачественная графика на основе OpenGL.

FlowVision

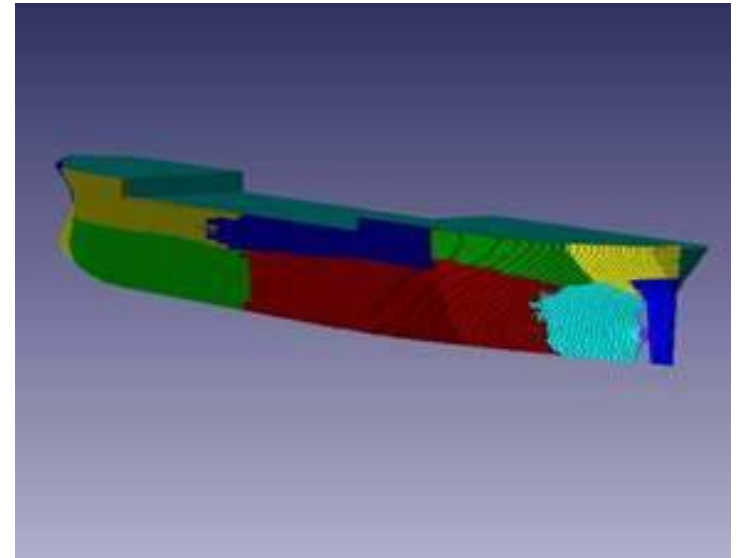
9

- FlowVision является интегрированной системой, включающей препроцессор, блок расчёта уравнений и постпроцессор
- Версия FlowVision-НПС успешно работает на параллельных компьютерах как с общей, так и с распределенной памятью (кластерах) и, в настоящее время, позволяет проводить распараллеливание до 1024 ядер – процессоров.

FlowVision HPC

10

- Декомпозиция расчётной области на подобласти в параллельном режиме осуществляется модулем ParMETIS, а поверхностная декомпозиция межпроцессорных границ осуществляется модулем METIS.
- Для обмена данными между процессорами применяется стандартный интерфейс межпроцессорной коммуникации (библиотеки) MPI (Message Passing Interface), который основан на явном описании программистом обменов сообщениями между процессорами.



Распределение ячеек сетки, контактирующих с поверхностью судна, по 16 процессорам (декомпозиция области)

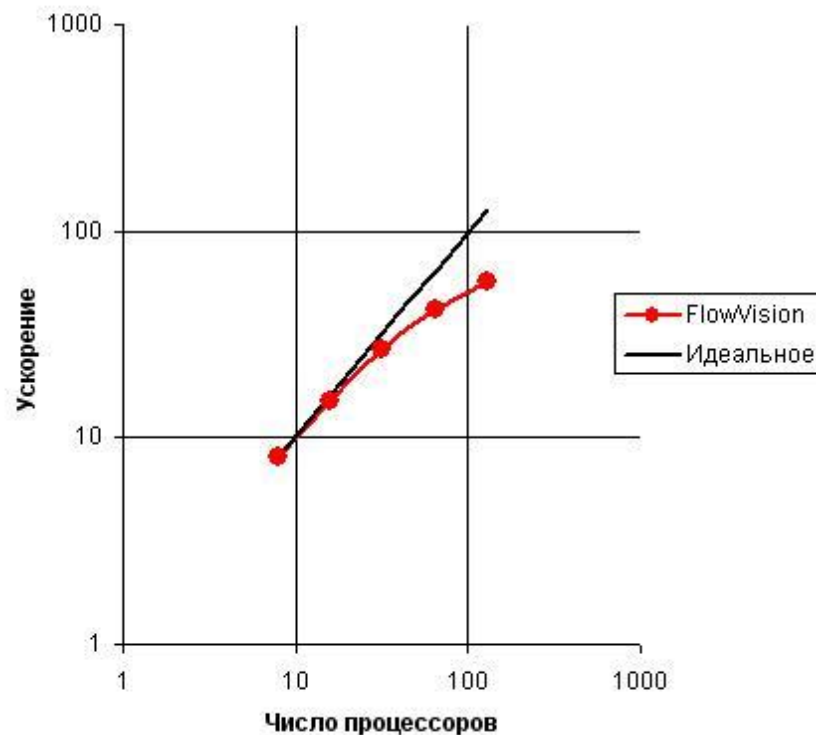
FlowVision HPC

11

В FlowVision-HPC

распараллелены все этапы
вычислений:

- декомпозиция расчётной области,
- построение расчётной сетки,
- итерационное решение алгебраических уравнений,
- обработка и визуализация результатов расчёта.



Ускорение вычислений при
увеличении числа процессоров
(масштабируемость
вычислительной процедуры)

Abaqus

12

- Один из мировых лидеров численного моделирования линейного и нелинейного напряженно-деформированного состояния тела/конструкции.
- Семейство продуктов Abaqus разрабатывается и поддерживается компанией Abaqus, Inc. (USA) с 1978 года.
- С 2005 года Abaqus, Inc. входит в компанию Dassault Systemes (разработчик всемирно известной CAD системы CATIA и систем управления жизненным циклом изделий PLM (Product Lifecycle Management) SmarTeam и Enovia).

Abaqus

13

- Abaqus позволяет рассчитывать сложное нелинейное напряженно-деформированное состояние строительных сооружений и оценивать их прочность и устойчивость с учётом многофакторного нагружения, в том числе сейсмического, теплового и взрывного.
- Сооружения могут моделироваться с учётом влияния предварительно нагруженной арматуры с одновременным расчётом оснований и сочетаний нагрузок, с контактными взаимодействиями и моделированием разрушений.
- Большое количество нелинейных моделей материалов, в частности материалов металлической арматуры, бетонов, грунтов, пористых материалов.

Abaqus, характерные задачи

14

- расчёт усталостной прочности и долговечности конструкций под воздействием произвольного по времени нагружения с учётом пластичного состояния;
- оптимизация конструкций к изменению параметров (например, оптимизация геометрии конструкции по напряжениям, возникающим в конструкции при заданных нагрузках);
- расчёт конструкций на статические, динамические, сейсмические и ветровые нагрузки, а также на сочетание комбинаций нагрузок (многофакторность нагружения);
- расчёт трещинообразования и концентраторов напряжений;
- задачи по прогрессирующему разрушению.

Модули Abaqus

15

- Abaqus Standard

- / задачи механики твердого и деформируемого тела
- / неявная схема интегрирования

- Abaqus Design

- / дополнительный модуль к Abaqus Standard, позволяющий анализировать чувствительность к параметрам конструкции

- Abaqus Aqua

- / модуль исследования подводных и надводных сооружений

Модули Abaqus

16

- Abaqus Explicit
- явная схема интегрирования
- расчёт
 - / нестационарной динамики;
 - / квазистатики;
 - / быстротекущих процессов, таких как, задачи падения, соударения (крэш-тесты), разрушения;
 - / моделирования технологических процессов (формовка, штамповка и т.п.).

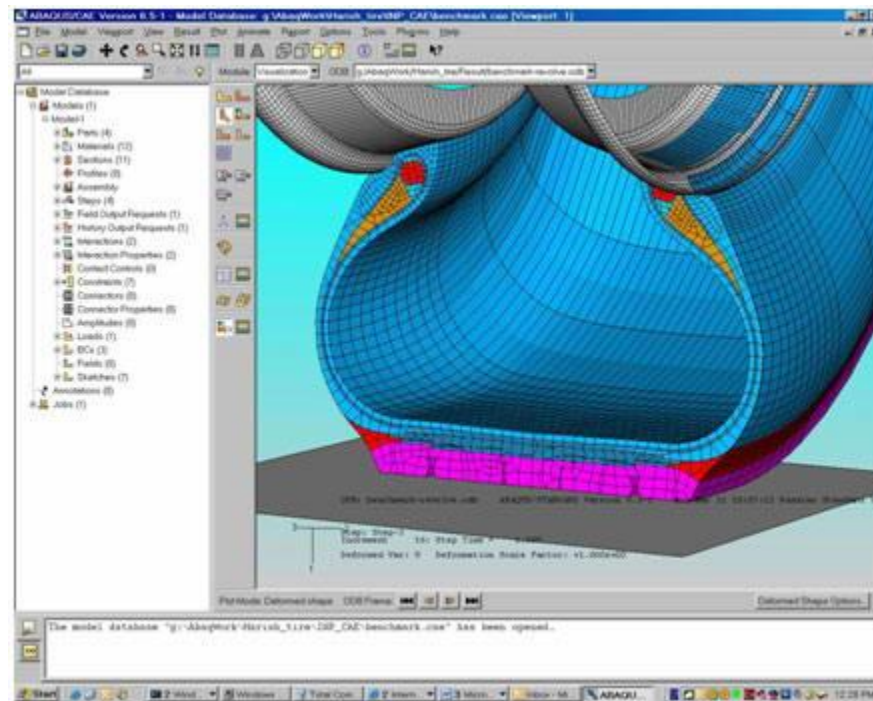


Моделирование столкновения
автомобиля с препятствием
на основе модуля Abaqus Explicit

Модули Abaqus

17

- Abaqus CAE – модуль пре/постпроцессора, предназначенный для моделирования и визуализации результатов расчёта
- Возможности по визуализации результатов Abaqus CAE также доступны в виде отдельного модуля Abaqus Viewer



Пример рабочего пространства Abaqus CAE

Модули Abaqus

18

- FE-SAFE – модуль, предназначенный для анализа долговечности конструкции
- FE-SAFE получает значения напряжений или деформаций для различных случаев нагружения, а также использует данные для материалов при циклических нагрузках для предсказания ресурса конструкции
- Результаты расчёта в FE-SAFE – «контурные» графики для разрушения, кривые усталостной долговечности, коэффициенты запаса по прочности



Пример расчёта,
выполненного в FE-SAFE

Numeca

19

- Разработка компании Numeca International, которая предлагает линейку продуктов, основанных на автоматизированной пользовательской среде FINE (Flow Integrated Environments)
- Решаются задачи проектирования, моделирования и оптимизации сложных систем
- Среда FINE обладает возможностями CAD моделирования, содержит расширенные пре- и постпроцессоры, мощные решатели, ядро оптимизации и широкий спектр физических моделей

- В среду FINE входят сеточные генераторы AutoGrid и HEXPRESS, позволяющие создавать структурированные и неструктурированные полностью гексаэдральные сетки автоматически.
- Модуль визуализации CFView - платформа визуализации решения, которая предоставляет весь набор возможностей по отображению качественных и количественных характеристик 2D/3D расчётов.
- Группа модулей AutoBlade, IGG, AutoGrid5, HEXPRESS интегрированы в среду FINE, и так же доступны как отдельные модули. Они позволяют работать с входными и выходными файлами других коммерческих пакетов, таких как ANSYS, CFX, Fluent, STARCD, ProE, Catia и т д.

FINE Turbo

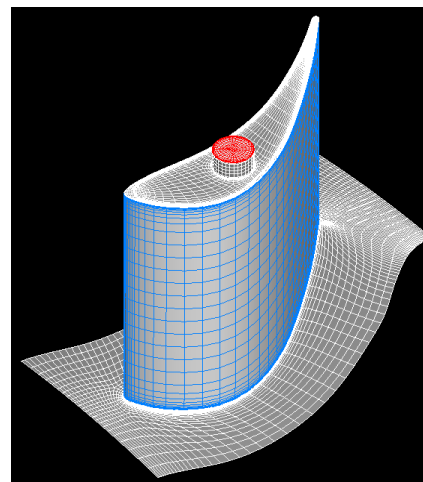
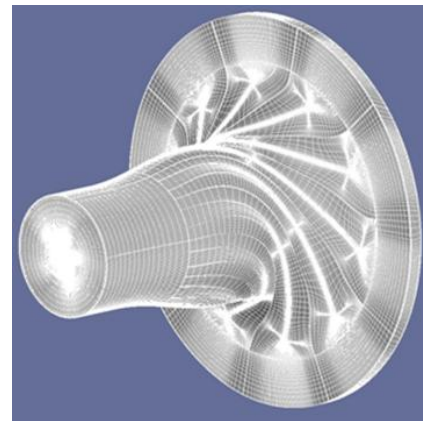
21

- Программный комплекс, ориентированный на решение специализированных задач турбомашиностроения
- Структура комплекса FINE Turbo:
 - / AutoBlade: параметрический генератор лопаточных венцов
 - / AutoGrid: автоматический блочно-структурированный сеточный генератор, позволяет создавать параметрические дискретные модели лопаток
 - / IGG: блочно-структурированный сеточный генератор для произвольной геометрии
 - / Euranus: структурированный 3D решатель уравнений Навье-Стокса
 - / CFView: визуализатор решения

FINE Turbo

22

- Реализованы методы
 - / «Mixing Plane» (Поверхность Смешения)
 - / «Frozen Rotor» («Замороженный» Ротор)
- а также уникальные для универсальных CFD-программных комплексов методы:
 - / «Domain Scaling Method» (метод масштабирования)
 - / «Phase Lagged Method» (обобщенные пространственно-временные периодические граничные условия)
 - / «Non Linear Harmonic» (метод нелинейного гармонического анализа). Этот подход позволяет быстро получить точное нестационарное решение для многоступенчатых турбомашин.



Примеры моделей в
FINE Turbo

FINE HEXA

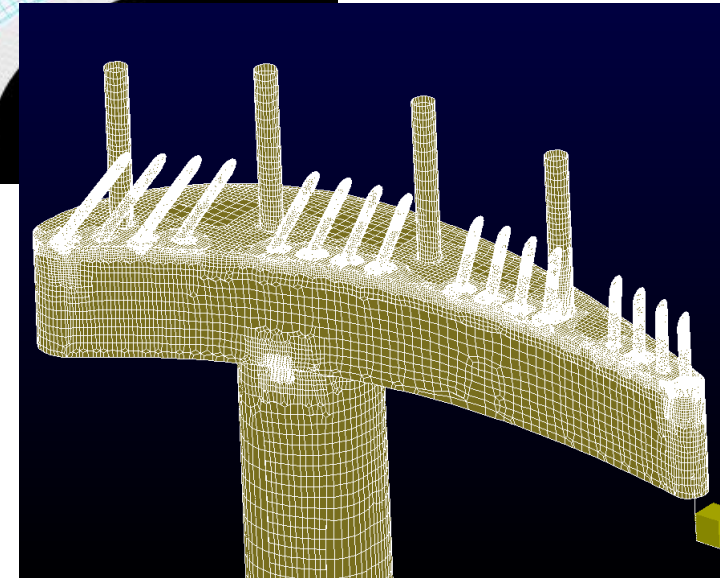
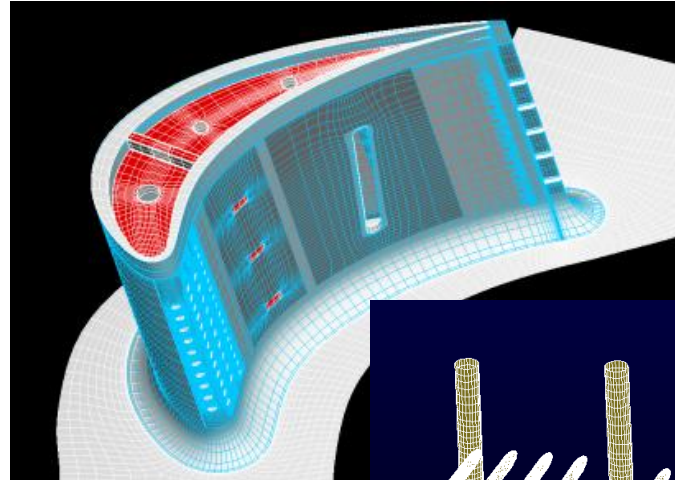
23

- Единая интегрированная среда для моделирования внешних и внутренних течений
- Структура комплекса FINE HEXA:
 - / HEXPRESS: автоматический сеточный генератор для построения гексаэдральных сеток;
 - / HEXSTREAM: 3D решатель уравнений Рейнольдса;
 - / CFView: средство визуализации и анализа результатов решения;
 - / FINE GUI: интерактивный графический пользовательский интерфейс.

HEXPRESS

24

Автоматически создаются
гексаэдральные сетки
для сложных
геометрических объектов
(фюзеляж самолета,
элементы подвески,
шасси, внутренняя и
внешняя геометрия
авиационных двигателей,
внутренние каналы
охлаждаемых лопаток
турбин,
воздухозаборники и т. д.)

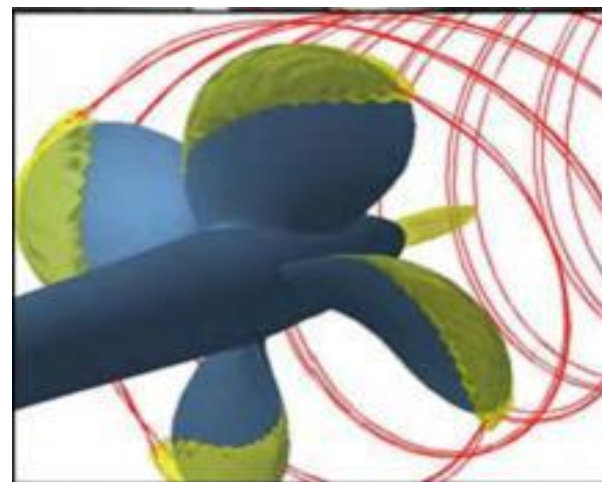
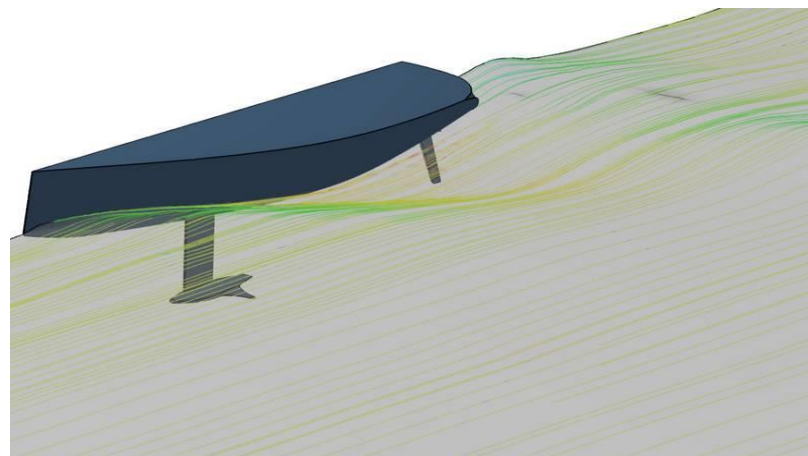


Примеры сеток, построенных с помощью
HEXPRESS

FINE Marine

25

- CFD-программный комплекс, ориентированный на решение специализированных задач корабельной гидродинамики
- RANSE подход на основе решателя ISIS CFD, разработанного ECN и CNRS (Лаборатория Гидромеханики, отдел Численной Гидродинамики), Франция.



Примеры расчётов в FINE Marine

Литература

26

- http://www.delcam-ural.ru/struktura_sayta/cae
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Nastran>
- http://ru.wikipedia.org/wiki/NX_Nastran
- http://www.plm.automation.siemens.com/ru_ru
- http://www.plm.automation.siemens.com/ru_ru/products/nx/collateral_library_rus.shtml
- <http://www.mscsoftware.com/> (MSC Software Corporation)
- <http://www.mscsoftware.com/Products/CAE-Tools/MSC-Nastran.aspx>
- <http://www.mscsoftware.ru/products/nastran>
- <http://www.thesis.com.ru/>
- <http://www.flowvision.ru/>

Литература

27

- <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>