

Министерство образования и науки Российской Федерации
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

Национальный исследовательский университет

Учебно-научный и инновационный комплекс
«Модели, методы и программные средства»

Любимов А.К., Шабарова Л.В.

**МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ СЕТОК В ПАКЕТЕ
ANSYS ICEM CFD**
Электронное методическое пособие

Блок мероприятий 2. Повышение эффективности научно-инновационной деятельности

Учебная дисциплина: «Модели механики деформируемого твердого тела»

Специальность, направление: 01 04 00.62 «Прикладная математика и информатика»

Нижний Новгород
2011

УДК 53.088
ББК В3В6

Любимов А.К., Шабарова Л.В. МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ СЕТОК В ПАКЕТЕ ANSYS ICEM CFD: Электронное методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2011. – 25 с.

Одобрено решением Совета исследовательской школы «Компьютерная и экспериментальная механика».

В настоящем пособии изложены методы построения геометрических и сеточных моделей в пакете ANSYS ICEM CFD. Построенные сеточные модели используются при численном решении различных задач механики сплошных сред: аэрогидродинамики, термодинамики, механики деформируемого твердого тела и т.д. Прилагается пример построения структурированной расчетной сетки.

Приводится теория в объеме, предусмотренном программой по курсу «Модели механики деформируемого твердого тела». Электронное методическое пособие предназначено для студентов ННГУ, обучающихся по направлению подготовки 010400.62 «Прикладная математика и информатика».

УДК 53.088
ББК В3В6

© Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского, 2011

Глава 1. Описание пакета *ANSYS ICEM CFD*

ANSYS ICEM CFD — это пакет, предоставляющий современные методы построения геометрической модели, создания и оптимизации сетки, а также средства постпроцессинга.

ANSYS ICEM CFD представляет наиболее полный на сегодняшний день набор инструментов построения геометрической модели «с нуля» и создание расчетной сетки. В пакете обеспечены передовые инструментальные средства для импорта и создания геометрии, генерации и оптимизации сетки, а также экспорта сеточной модели. *ANSYS ICEM CFD* позволяет строить геометрию модели любой сложности (начиная от простых 2d моделей и заканчивая весьма сложными 3d моделями интересных форм), делить ее для удобства на части, а также получать информацию по построенной модели. С его помощью можно создать расчетную сетку любого типа, от структурированной многоблочной сетки до неструктурированной гекса - или тетраэдрической или гибридной сетки. Помимо этого *ANSYS ICEM CFD* имеет средства анализа качества построенной сетки, а также позволяет корректировать подобласти сетки при необходимости.

Созданная с помощью данного пакета сетка может быть использована при решении различных классов задач: механика жидкостей и газов, механика деформируемого твердого тела, расчет электромагнитных полей, распределение теплового потока и др. где используются методы конечных элементов (или методы конечных объемов).

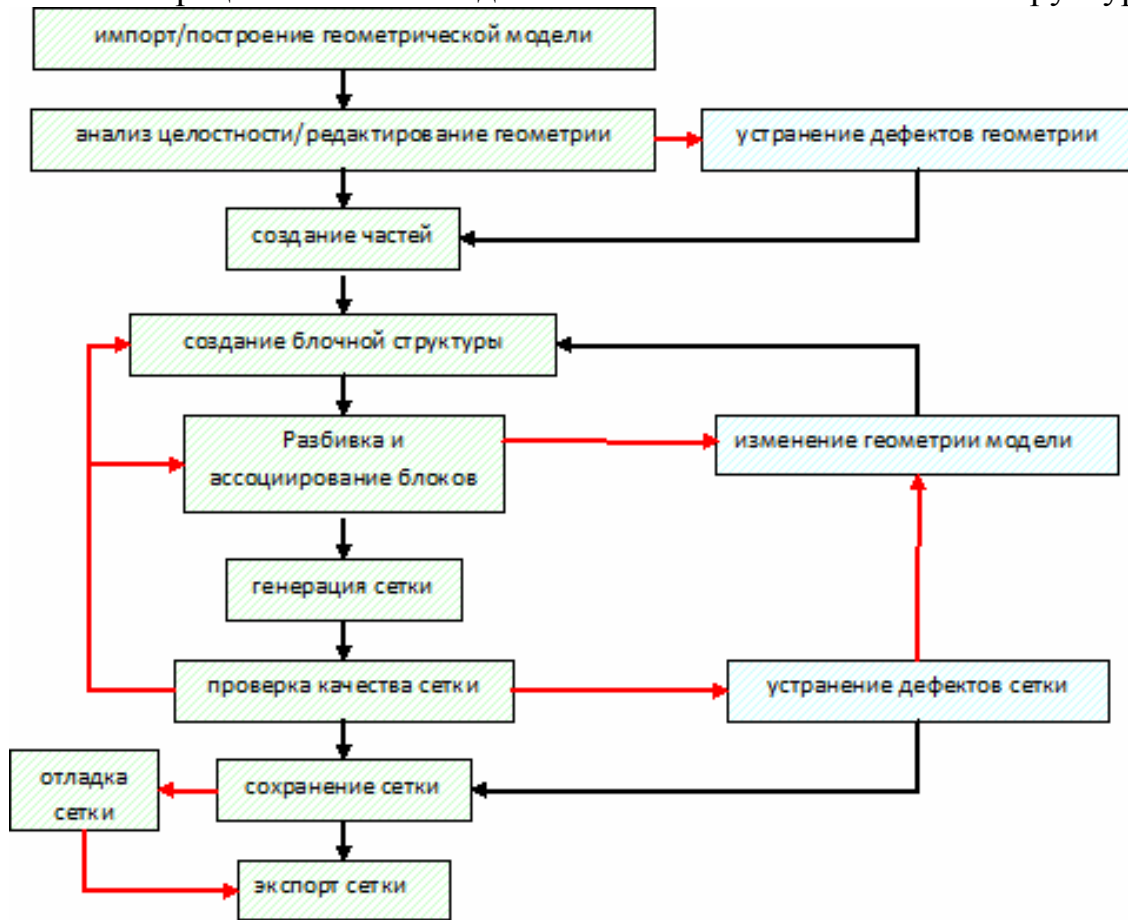
После построения сеточной области ее можно импортировать в другие инженерные пакеты для решения поставленной задачи. *ANSYS ICEM CFD* поддерживает множество инженерных пакетов, в которых можно производить решение. Среди них: *ANSYS*, *ANSYS CFX*, *NASTRAN*, *PATRAN*, *STAR-CD* и другие.

Современный пакет *ANSYS ICEM CFD* широко используются в научных и инженерных разработках, проводимых в таких корпорациях и научных центрах, как *Boing*, *NASA*, *Los Alamos*, Российской Академией наук, ЦАГИ им. проф. Н.Е. Жуковского, ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, Объединенной авиастроительной корпорацией и т. д, ведущими университетами, в том числе отечественными. В последнее время вычислительные эксперименты, подготавливаемые с использованием этого пакета, активно применяются рядом отечественных малых предприятий, создающих или ставящих цель создать высокотехнологичную продукцию, конкурентоспособную на мировых рынках.

Процесс создания сеточной модели в модуле *ICEM CFD HEXA* представлен в виде Блок-схемы.

Блок-схема.

Этапы генерации сеточной модели с использованием блочной структуры.



Зелёной штриховкой в блок-схеме отмечены обязательные этапы, а голубой – дополнительные (обусловленные неудовлетворительным качеством сетки).

Глава 2. Построение геометрической модели

Геометрическая модель может быть построена с помощью встроенного инструментария *ICEM* или передана из внешнего *CAD* пакета. *ICEM CFD* поддерживает экспорт геометрических данных в самых различных форматах Pro/E, CATIA, ParaSolid, Unigraphics, I-DEAS, ICEM Surf, Solid Works, ACIS, Capri, DWG, DXF, IDI, IGES, STEP, STL, VRML. Следует отметить, что большинство из данных форматов успешно читается, однако, желательно использовать *CAD* форматы, поддерживающие корректное описание поверхностей.


Рассмотрим более подробно средства, предоставляемые пакетом ANSYS ICEM CFD для построения в нем геометрической модели «с нуля».


Построение геометрии происходит в модуле *Geometry* (рис.1). Этот модуль позволяет строить точки, линии, поверхности, тела, многогранники, позволяет также производить ремонт и трансформацию геометрии, а так же осуществлять удаление точек, линий, поверхностей, тел и всей геометрии.





Модуль *Geometry*
Рис. 1

Задание точек может быть разными способами:





1. *Screen Select* . Позволяет строить точки с помощью мыши, непосредственно щелкая левой кнопкой мыши в нужном месте рабочего экрана. Затем для построения точек нажимается средняя клавиша мыши (*Apply*) или *OK*.



2. *Explicit Coordinates* . При применении данного метода точка строится в двух режимах: при задании координаты каждой точки или при вводе уравнения построения точек.


3. *Base Point and Delta* . Точка может быть построена по смещению относительно другой.












4. *Center of 3 Points* . Создание точки в центре окружности, построенной на 3-х задаваемых точках.


5. *Base Point and Delta* . Позволяет строить точку по смещению относительно другой.




6. Также при создании точки могут быть выбраны *Based on 2 Locations*  (построение по двум точкам и параметру — количеству точек разбиения), *Curve Ends*  (на концах линии), *Curve-Curve Intersection*  (в точке пересечения двух линий), *Parameter along a Curve*  (на линии с заданным параметром),

Project Point on Curve  (проектируя точку на линию), *Project Point on Surface*  (проектируя точку на плоскость).


Возможны следующие основные варианты построения линий :

1. *From Points* . Построение сплайна по указанным точкам и точности.
2. *Arc from 3 Points* . Создание дуги окружности по трем точкам.
3. *Circle from Center and 2 Points* . Построение окружности (части окружности) по 3-м точкам, первая точка — центр окружности, вторая — лежит на окружности, третья — в направлении которой ведется отсчет угла при построении окружности или ее части.
4. *Surface Parameters* . Линия может быть построена по области с помощью параметра. Возможны три варианта: *By Paramert* — выбирается одно из двух направлений U или V и вводится параметр от 0 до 1; *Direction on Surface* — выбираются 2 точки и плоскость, линия строится по плоскости от точки к точке; *Point on Edges* — выбирается плоскость, точка на кромке плоскости и линия строится проходя через эту точку.
5. *Surface-Surface Intersection* . Эта опция позволяет строить линии в месте пересечения двух поверхностей. Задаваемые параметры — две поверхности, также выбирается какого типа линия получится при пересечении этих поверхностей — сплайн или неструктурированная линия.
6. Кроме представленных опций для построения линий предназначены следующие средства: *Project Curve on Surface*  (проектирование линии на поверхность), *Segment Curve*  (делит линию на составные части при помощи точек, линий, поверхностей), *Concatenate/Reapproximate Curves*  (объединение и реаппроксимация линий, а также объединение линий и дополнение их до замкнутой области), *Extract Curves from Surfaces*  (построение по поверхности линий, на которые она опирается), *Modify curves*  (изменение уже существующей линии), *Create Midline*  (построение средней между двумя существующими линиями).


После построения линий создаются поверхности. Возможны следующие основные варианты задания поверхностей :


1. *From Curves* . Построение поверхностей происходит путем выбора линий, на которые она опирается, при этом необходимо указать толерантность.
2. *Curve Driven* . Создание цилиндрической поверхности с помощью задания направляющей и образующей.
3. *Sweep Surface* . При применении данного метода цилиндрическая поверхность может осуществляться двумя способами. Способ 1: построение с


помощью вектора, указывается образующая цилиндрической поверхности и две точки, характеризующие начало и конец вектора. Способ 2: аналогичен предыдущему методу *Curve Driven*.

4. *Surface of Revolution* . Построение поверхности вращения. Указывается начальный и конечный угол поворота, две точки (характеризующие ось вращения и линии вращения). К линиям вращения нельзя относить прямые, являющиеся осями вращения.


5. *Loft Surface over Several Curves* . Создание поверхности, включающую в себя некоторые кривые. При этом задается толерантность и сами кривые.


6. *Offset Surface* . Строительство подобной поверхности: указывается сама поверхность и расстояние, на которое должна отстоять новая поверхность. Расстояние откладывается по нормали к поверхности-предку.

7. *Create Curtain Surface* . Построение поверхности-«шторки». Параметрами для построения является линия и поверхность, к которой по нормали проектируется начальная линия.


8. *Standard Shapes* . Создание стандартных поверхностей, таких как поверхность куба, сфера, цилиндр и т.п. Построение происходит путем задания начальной точки (точек) и характерных размеров.


9. Также для работы с поверхностями существуют следующие возможности:


Midsurface  (построение срединной поверхности к двум существующим),


Segment/Trim Surface  (удаление части поверхности путем задания на ней сплайна),


Merge/Reapproximate Surfaces  (соединение/реаппроксимация двух поверхностей),


Untrim Surface  (создание из поверхности с вырезами «целой» поверхности),

Extend Surface  (удлинение поверхности),

Geometry Simplification  (преобразование начальной поверхности к более простой).

В некоторых задачах требуется построение объемов (тел) . Тела создаются двумя способами:

1. *By Topology* . Здесь тела строятся двумя методами: *Entire Model* – построение полной модели (используются все замкнутые поверхности, образующие поверхности тел), *Selected surfaces* (построение происходит по выбранным поверхностям)

2. *By Material Point* . Построение происходит по одному из двух методов: *Centroid of two points* (по двум точкам – внутренней и внешней), *A specified point* (по специфической точке – внутренней).

Это основные методы создания геометрии. Также в разделе *Geometry* представлены возможности построения многогранников, коррекции и трансформации геометрии, а также инструменты удаления точек, линий, поверхностей тел, и всей геометрии в целом.

Глава 3. Построение сетки. Работа с блоками

ICEM CFD позволяет создавать сеточные элементы различных типов: узловые элементы, линии, оболочки, тетраэдры, призмы и гексаэдры. Сетка может быть построена как автоматически с использованием опций меню *Mesh*, так и с помощью блочной структуры (модуль *HEXA*).

Автоматические методы не всегда применимы при построении сетки на сложной геометрии, поэтому в данной работе рассматривается способ построения сетки с помощью блоков.

Сеточные объекты присутствуют в проекте только после генерации сетки и в случае с блочным методом построения их число жёстко связано с разбивкой блоков. Следует заметить, что при создании объёмной сетки, в начале происходит автоматическая генерация поверхностной сетки, которая и отображается в графическом окне. Фактически происходит только оценка размера объёмной сетки, её создание начинается только после вызова процедуры записи сетки (формирование файлов *.uns или *.domain). Данная техника позволяет существенно снизить временные затраты на моделирование (поверхностная сетка, в отличие от трёхмерной, легко поворачивается и перестраивается).


Принцип работы с блоками заключается в следующем. Создается блок: прямоугольник (в двумерном случае) или параллелепипед (в трехмерном случае), вершины, ребра и грани которого ассоциируются с точками, линиями и поверхностями той области геометрии, которую необходимо замешировать. Далее строится структурированная сетка для блока, которая автоматически переносится на ассоциированную с блоком сложную фигуру.


Работа с блоками осуществляется в модуле *Blocking* (рис.2). В начале, необходимо построить блок. Блок строится по созданной геометрии. Если геометрия не создана, то *ANSYS ICEM CFD* не предоставит возможности построения блока.



Модуль *Blocking*


Рис. 2


Построение блока производится каждый раз заново при выборе *Create Block* . Данный модуль позволяет строить 2d и 3d блоки, которые опираются на существующую геометрию (при этом необходимо учесть, что геометрическая модель должна содержать линии или поверхности).

1. Initialize Block . Этот метод является методом инициализации блоков и при повторной процедуре инициализации все ранее созданные блоки удаляются.

Здесь существует три способа создания блоков.


- Построение при помощи *3D Bounding Box*. Выбрав данную опцию можно построить как 3d блок, так и 2d блоки, которые как бы ограничивают трехмерный объем (ставиться галочка напротив *2D Blocking*). Геометрию, по которой задается 3d-блок/2d-блоки указывается в окне *Entities*. Здесь, как и во всех подобных окнах ввода данного пакета задание может производиться двумя способами: явно – когда открывается окно ввода и пользователь сам указывает (прописывает) имена необходимых частей; и неявно – когда части указываются непосредственно на рабочей области. Также можно задать построение блока, опираясь на вершины геометрии (*Project vertices*). Еще одной опцией является *Orient with geometry* – сохранение ориентации из геометрии.
- При помощи *2D Surface Blocking* ведется построение двумерных блоков, которые опираются на заданные области (*Surfaces*). При этом можно выбрать метод создания блоков: *All free* – неструктурированный, *All mapped* – структурированный, *Some mapped/Some free* – смешанный. Структурированный от неструктурированного отличается единообразными размерами и формой элементов при дальнейшем мешировании блоков. Если блок является неструктурированным, то это свойство блока подписывается в скобках после его имени. Также при инициализации блоков данным методом необходимо задать минимальную длину грани блока *Minimum Edge Length* (по умолчанию она равна нулю).
- Построение блока при помощи *2D Planar*. Этот метод наиболее продуктивен для создания блоков на плоской геометрии, но также может использоваться и при трехмерной. Здесь *ANSYS ICEM CFD* строит один блок прямоугольной формы, который вмещает в себя всю геометрию (в случае двумерной геометрии), и всю спроектированную часть (в трехмерном случае).

2. *From Vertices/Faces* . Данный метод позволяет строить 2d/3d блоки опираясь на вершины или на стороны. При этом задаются свойства блока: для трехмерного – *Hexa*, или *Swept*, или *Quarter-O-Grid*, или *Degenerate*; для двумерного – *Quad* или *Unstructured*.

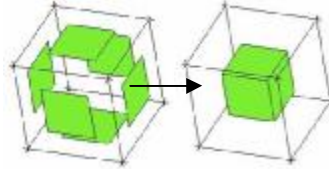
3. *Extrude Face* . Метод построения блока путем экстружирования (выдавливания) через грань другого уже созданного блока, что применимо только для трехмерных блоков. При этом экструкция может осуществляться тремя способами:

- *Interactive*. В данном случае указывается лишь грань блока. К этой грани будет автоматически достроен еще один блок. Таким образом может производиться построение смежных 3d блоков.
- *Fixed distance*. При этом способе указывается грань смежного блока, а также глубина нового блока.
- *Extrude Along Curve*. С использованием данного метода строятся смежные блоки по смежной грани, направляющей, конечной точке

(отвечающей за глубину), а так же числу новых блоков, выстраиваемых вдоль заданной направляющей.

4. *2D to 3D Blocks* . Используется при построении трехмерных блоков из двумерных. Содержит три метода построения:


- *Fill*. Это метод «наполнения». Строится трехмерный блок, который опирается на двумерные, являющиеся его гранями.




Построение блока методом «наполнения»


Рис. 3

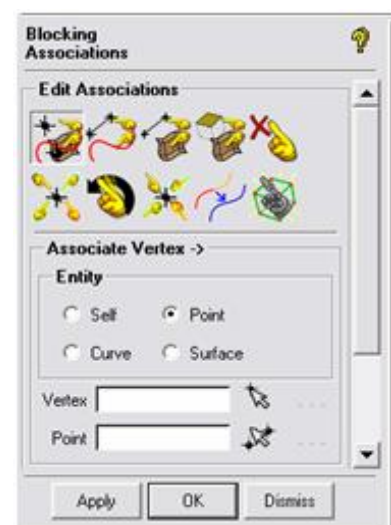
- *Translate*. В этом методе перевод двумерного блока в трехмерный осуществляется путем задания дистанции по осям X, Y и Z. Следует учесть, что в данном случае оси являются локальными, привязанными к блоку.
- *Rotate*. Данный способ используется при изменении двумерного блока в трехмерный путем поворота. В нем указывается центр поворота (центр координат, или выбранная пользователем точка), ось вращения (оси координат или выбранный пользователем вектор), угол поворота, число копий блока, число точек по углу (характеризует число блоков по выбранному углу). Можно выбрать опцию разрушения узлов, находящихся на оси вращения (*Collapse Axis Nodes*), экструзию геометрических точек/линий в линии/области (*Extrude points/Extrude curves*), установить периодичность узлов (*Set Periodic Nodes*).

5. *3D to 2D* . Создание двумерных блоков из трехмерного, при этом двумерные блоки являются гранями начального.

Следующим этапом является «ассоциация» блока с геометрией  (рис.4). Можно ассоциировать вершины, стороны, грани блока с геометрией, на которой он построен. Среди всех представленных способов ассоциации наиболее востребованными являются:

1. *Associate Vertex* . Этот способ позволяет ассоциировать вершину блока с точкой.


2. *Associate Edge to Curve* . Ассоциация ребра с линией. При этом необходимо ввести ребро (*Edge*), задать линию (*Curve*), с которой планируется провести ассоциацию, а также можно задать проектирование вершин (*Project vertices*), пересечения областей (*Project*








Вкладка *Blocking Associations*

Рис. 4


to surface intersection), и пересечения линий (*Project ends to curve intersection*).


3. *Associate Face to Surface* . При помощи этого способа можно произвести ассоциацию грани с поверхностью. Ассоциирование грани требуется, когда необходимо создать поверхностные элементы сетки внутри трехмерной расчетной области. Только при выполнении данной ассоциации впоследствии на поверхности возможно задание граничных условий.

4. *Reset Association* . Данная опция необходима для снятия наложенных ассоциаций. В ней можно установить объекты снятия ассоциаций – вершины (*Vertices*), ребра (*Edges*) и грани (*Faces*). Необходимо отметить, что если на вершину наложена ассоциация, то она становится непрерывно связана с геометрией, с которой она ассоциирована. Свободное перемещение этой вершины уже не допускается. Неассоциированная вершина имеет возможность перемещаться.

6. Помимо этих основных способов ассоциации существует и ряд других: *Auto Association*  – производит автоматическую ассоциацию, *Disassociation from Geometry*  – отмена ассоциаций отдельных вершин, ребер и граней, *Associate Edge from Surface*  – проектирование ребра на поверхность, *Group Curves*  – группирование линий и др.

После того, как установлены ассоциации блоковой структуры с геометрией, можно преступать к установке параметров разбиения сетки (меширования):


числа узлов и законов их расположения вдоль ребер блоков . Установка мешируемых параметров возможна также и при неналоженных ассоциациях (их можно наложить впоследствии или вовсе не накладывать).


1. *Edge Params*  (рис. 5). Эта опция позволяет устанавливать разбиение ребер блоков. В пункте ребро (*Edge*) выбирается нужное ребро блока. В графе длина (*Length*) указывается длина данного ребра, что удобно при расчете числа необходимых узлов на ребре. В пункте узлы (*Nodes*) указывается число необходимых узлов на ребре (по умолчанию их число равно двум). Далее выбирается закон разбиения ребра (*Mesh law*). Наиболее часто встречаются: *BiGeometric* – равномерное разбиение, *Linear* – линейное разбиение, *Spline* – разбиение, используя сплайновый закон, *Exponential* – экспоненциальный закон, *Hiperbolic* – гиперболический закон. При *Exponential* и *Hiperbolic* за разбиение отвечают такие факторы, как разгонка (*Spacing*) и передаточное число (*Ratio*). Среди остальных параметров, отвечающих за разбиение, стоит отметить такие, как блокирование числа узлов на ребре (*Nodes Locked*), блокирование параметра разбиения ребра




Вкладка *Pre-Mesh Params*
Рис.5


(*Parameters Locked*), а также копирование свойств данного разбиения ребра на другие параллельные данному ребру (*Copy Parameters*).

2. *Scale Sizes* . Задание множителя разбиения (*Factor*). Множитель является положительным числом и определяет, во сколько раз изменится число узлов сетки в каждом направлении после проведения операции разбиения.

3. *Refinement* . С помощью данной опции можно увеличить число разбиений выбранных блоков (*Blocks*) по выбранным или по всем сторонам (*Refinement Dimension: Select* или *All*). Множитель изменения разбиения данного блока записывается в *Level*. При помощи данного способа можно легко сопрягать смежные блоки с разным числом разбиения по общей стороне.

После того, как все *Pre-Mesh* параметры установлены, можно отобразить предварительную сетку на рабочую плоскость, установив галочку *Model->Blocking->Pre-Mesh* во вкладке Дерево вида. Таким образом отображается прообраз сетки по построенной блочной структуре. В дальнейшем предварительную сетку можно конвертировать в сеточную область (*Mesh*). Для этого необходимо кликнуть правой кнопкой мыши на *Model->Blocking->Pre-Mesh* и выбрать *Convert to Unstructured Mesh*. Причем конвертировать можно как структурированные, так и неструктурированные предварительные сетки. После этой операции будет создана обычная сеточная область в *ANSYS ICEM CFD*.

Это далеко не все возможности, которые предоставляет *ANSYS ICEM CFD* при работе с блоками. Очень важной опцией является возможность разбиения блоков на составляющие :

1. *O-grid Block* . При помощи этого способа блок расщепляется на так называемую «нулевую решетку» (это название пришло из вида расщепления). При этом можно задавать центр этого расщепления, причем центром может быть не только центр тяжести блока, но и его элементы, а именно вершины, ребра, грани (см. рис. 6)

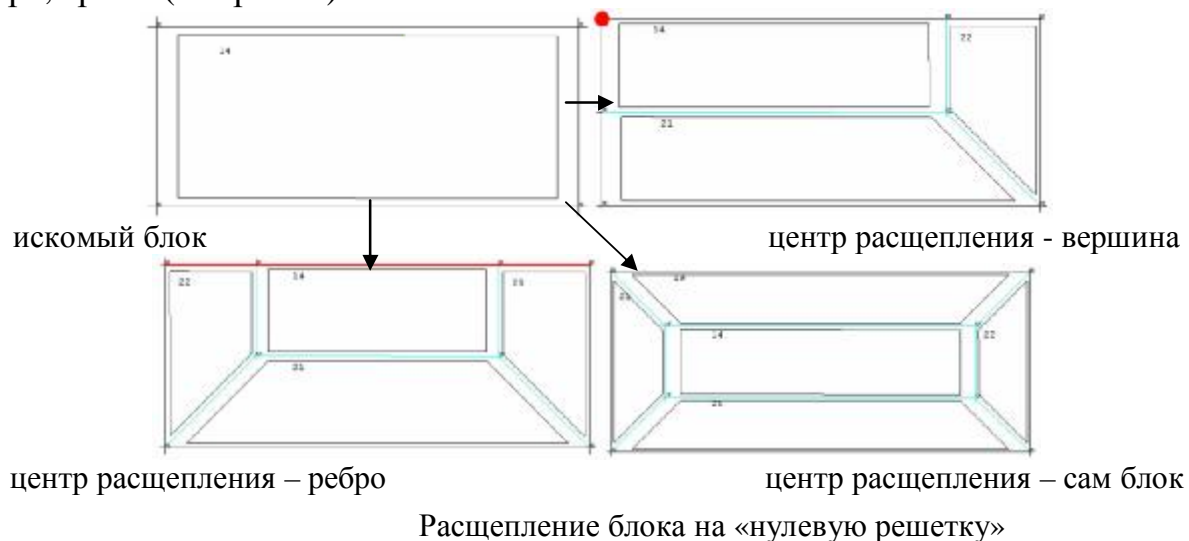




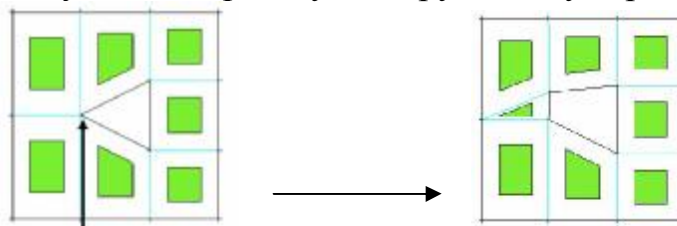
Рис.6

2. *Split Block* . Данный метод расщепления более универсальный и позволяет расщеплять блоки (все видимые – *All Visible* и задаваемые пользователем – *Select*) по выбираемому ребру при помощи различных способов:

- Графически определяя место разбиения, указывая его на ребре – *Screen select*.
- Указывая точку (*Point*), которая будет определять место разбиения – *Prescribed point*. Точка не обязательно должна лежать на ребре. Место разбиения будет определяться путем проектирования точки на ребро.
- Задавая параметр от 0 до 1 – *Relative*. При этом место на ребре выбирается из пропорции, где под единицей понимается вся длина ребра.
- Задавая расстояние от конца ребра – *Absolute*.
- Указывая линию, и параметр (от 0 до 1), которые будут определять длину от конца ребра, где и будет место разбиения.


Этот способ удобен тем, что пользователь может сам построить сеть блоков различной конфигурации.


3. *Split Vertices* . Данная опция позволяет расщеплять вершины (см. рис. 7), при этом необходимо указать вершину, которую следует расщепить.




Расщепление вершин блоков

Рис.7

4. Существуют также и другие способы расщепления блоков, такие как *Split Face* , *Split Free Face* и др.

При построении нужной блочной структуры необходимо иногда производить объединение вершин. Для этого существует свойство *Merge Vertices* .

1. *Merge Vertices* . Этот метод позволяет объединять вершины двух блоков. В строке *2 Vertices* указываются две вершины, которые необходимо объединить. Далее можно задать другие свойства объединения:

- *Propagate merge* – продолжить объединение других вершин. Это При использовании данного свойства объединяются не только две соседние вершины (находящиеся по разные концы одного блока), но и все вершины, грани которых параллельны искомой.

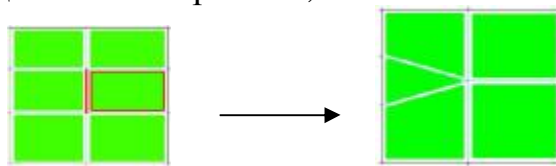
- *Merge to average* – производит объединение двух вершин, а получившуюся единую вершину ставит посередине между начальными (как правило это середина ребра, которое их объединяло).



2. *Merge Vertices by Tolerance*. Объединение двух вершин с учетом толерантности. При этом объединении указывается только пара вершин и значение толерантности. При правильно установленной толерантности вершины объединяются в одну, которая располагается посередине между старыми.



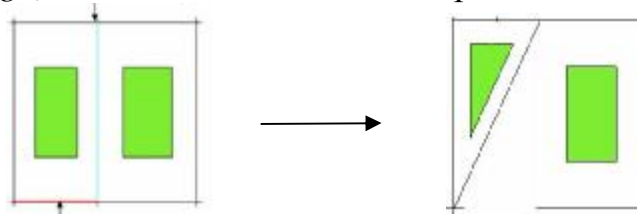
3. *Collapse Blocks*. Данный метод позволит объединить две вершины, при разрушении блока. Входными параметрами являются ребро блока, концами которого служат объединяемые вершины, и сам блок.



Объединение вершин блоков
Рис.8



4. *Merge Vertex to Edge*. Способ объединения двух вершин одного ребра, при этом задается только одну из вершин, а вместо другой выбирается сопряженное ребро. В качестве входных параметров выступают вершина (*Vertex*) и ребро (*Edge*). Схема данного метода приведена на рис. 9:




Объединение вершин ребра
Рис.9

Трансформации блоков производятся с помощью опции *Transform Blocks*. Эта опция позволяет перемещать (*Translate Blocks*), поворачивать (*Rotate Blocks*), зеркально отображать (*Mirror Blocks*), и масштабировать (*Scale Blocks*) блоки.


Изменение основных составляющих и настроек блоков осуществляется с помощью опции *Edit Block*:


1. *Merge Blocks*. Данный метод позволяет объединять блоки в единое целое. Объединение проводится двумя способами: *Select* – указываются блоки на расчетной области которые нужно объединить; *Automatic* – объединение блоков производится автоматически (происходит объединение всех блоков).


2. *Change Block IJK* . Эта опция позволяет изменить локальную систему координат каждого блока несколькими способами:


- *IJK->KIJ*. Изменение левой тройки базисных векторов на правую, и наоборот. Входным параметром является блок(Block)
- *Set Origin*. Перемещение в другую вершину блока начало локальных координат. Входными параметрами являются блок (*Block*) и вершина (*Vertex*), в которую необходимо перенести начало координат.
- *Align Blocks*. Выставление координат всех блоков подобно некоторому.
- *Set IJK*. Задание направления базисных векторов.


3. *Renumber Blocks* . Данный компонент позволяет перенумеровывать блоки.


4. *Convert Block Type* . При помощи этой опции можно поменять тип блока. В графе *Type* приводимый тип блока, а также задается блок, тип которого необходимо поменять.


5. *Modify OGrid* . При помощи *Modify OGrid* можно изменять масштаб блока/ов. Блоки можно задавать самостоятельно (*Select*), процедуру можно также осуществить для всех видимых блоков (*All Visible*). При этом указывается ребро (*Edge*), относительно которого производится масштабирование, а также устанавливается коэффициент масштабирования (*Offset*). При желании вместо коэффициента можно задавать абсолютную длину ребра (*Absolute distance*).

При работе с блоком до его ассоциации часто бывает удобно перемещать его вершины к месту их будущей ассоциации с точками, при этом самой ассоциации не проводить. Для этого служит метод *Move Vertices* , позволяющий двигать свободные вершины.

1. Обычное перемещение вершины. *Move Vertex* . Данный способ позволяет переместить вершину вручную. При этом необходимо лишь выбрать и подвинуть необходимую вершину при помощи мыши.

2. *Align Vertices In-line* . Выстраивание в линию указанных вершин. При помощи *Reference Direction* выбирается прямая. В *Vertices* задаются вершины, которые будут проектироваться на эту прямую.

3. *Set Edge Length* . При помощи данного способа можно осуществлять перемещение вершин, указывая ребро, которое их соединяет, и задавая длину этого ребра. При этом можно включить функцию свободной вершины (*Freeze Vertex*), которая позволяет перемещать только выбранную вершину. В противном случае вершины сместятся на одинаковое расстояние относительно центра.

4. *Move Face Vertices* . Перемещение вершин, которые ограничивают грань, путем задания грани, а также вектора, который и будет отвечать за перемещение. Данный способ содержит и другой метод— *Rotate Vertices*. Данный метод перемещает выбранные вершины на задаваемый угол, где центр и ось вращения пользователь задает сам.

Глава 4. Дерево вида модели. Деление модели на части

Важной частью интерфейса является дерево вида (рис.10).

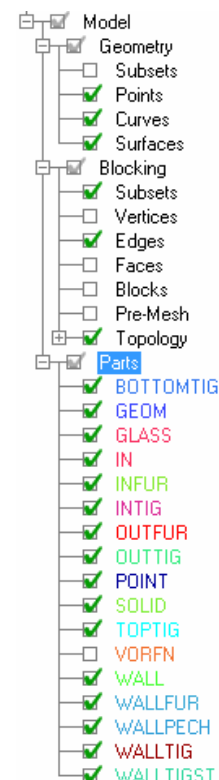
Вкладка *Geometry*: позволяет включать-отключать отображение точек кривых поверхностей и тел. Нажав правой кнопкой на пункт *Points*, можно настроить изображение точек: **Show Large** - позволяет сделать их в 2-3 раза толще; **Show Point Names** - отображение на экране названий всех построенных точек; **Show Point Info** - получение информации о названии выбранной точки, части (*Part*) которой она принадлежит и ее координатах; нажав **Blank Points** и выбрав нужные точки можно временно прекратить их отображение; при помощи **Show Only Points** возможно оставить отображёнными только нужные точки; опция **Unblank All Points** восстанавливает отображение всех точек.

Аналогичные свойства и у кривых с поверхностями. Помимо этого у поверхностей есть опция **Solid**, при использовании которой поверхность отображается как непрозрачная стенка; опции **Show Full**, **Show Simple** позволяют увеличивать или уменьшать число образующих поверхности; пункт **Transparent** - прорисовка поверхностей полупрозрачными; активирование опции **Show Surface Normals** приведёт отображению вектора нормали к поверхности. Для того, чтобы увидеть созданное тело (*Bodies*) необходимо нажать на **Show Bounding Surfaces**.

Аналогично настраивается вид сеток (*Mesh*) и блоков (*Blocking*), где *Vertices* - вершины блока, *Edges* - рёбра, *Fases* - грани. Полезными для блоков являются описанные ниже опции.

У рёбер: **Show association** - позволяет наглядно увидеть проассоциировано ли ребро с кривой, если да, то будет нарисована стрелка, указывающая на эту кривую (без этой опции проассоциированные рёбра подсвечиваются зелёным цветом); **Bunching** - после активирования над каждым ребром появится количество узлов сетки на которое данное ребро разбито, более того, видно как оно разбито (равномерно или со сгущениями), где находятся сгущения и можно наглядно оценить размер максимальных и минимальных элементов, стрелками будут отображены направления локальных координат; **Projected Edge Shape** - после применения данной опции каждое проассоциированное ребро примет форму той кривой с которой оно проассоциировано.

Аналогичные свойства у граней: **Face Projection** - стрелками иллюстрируется с какой поверхностью проассоциированы грани (более того рядом будет подписано имя части (*Part*) с которой данная грань проассоциирована); **Show Face Info** - после выбора нужной грани выведет в текстовом окне (в log-



Дерево вида модели
Рис.10

файле) тип связи грани с геометрией (например FAMILY, если грань связывалась с частью и имя этой части).

У блока можно настроить отображение его как жёсткого целого, а также аналогичные настройки связи блока с геометрией, иногда полезной является вкладка **IJK** - позволяющая отобразить направление базисных векторов локальной системы координат блока (при желании локальную C.K. у блока можно поменять).

Пункт прообраз сетки (Pre-Mesh) даёт возможность осуществить предварительный просмотр сетки. В этом пункте также можно проводить полную настройку вида предварительной сетки. **No projection** - отображает сетку без учета связи блоков с геометрией; **Project vertices** - учитывает связь только вершин блока с геометрией; **Project edges** - связаны только рёбра; **Project faces** - связаны только грани (последовательное изменение этих трёх параметров даст уверенность что блок правильно ассоциирован с геометрией); **Recompute** - вызывает обновление сетки; **Show Size Info** - выводит характерные размеры сетки (число узлов, число элементов); очень важной является опция **Convert to Unstruct Mesh**, которая позволяет конвертировать прообраз сетки, построенный с помощью блоков в неструктурированную сетку, ее же в свою очередь уже можно экспортировать в решатель.

Также на дереве вида отображаются все созданные части (*Parts*). Изображение частей устанавливается аналогично: щёлкнув правой кнопкой по слову *Parts* можно увидеть меню, где будет предложено создать часть, показать все части или скрыть все части. Смысл деления модели на части заключается в следующем:

1. Части – прообразы границ расчетной области. Если часть включает в себя ряд поверхностей, то после создания сетки ей будет принадлежать набор поверхностных узлов, которыми мешированы эти поверхности. Впоследствии, после экспорта в решатель, на этом наборе задается одно и только одно граничное условие, либо же происходит склейка между разнородными зонами расчетной области (например граница жидкости и твердого тела). По умолчанию все геометрические объекты записываются в часть GEOM.

2. В части, содержащие блоки после создания сетки включаются все объемные элементы, которые будут входить в эти блоки. В решателе в различных объемных частях появляется возможность задавать разнородные среды (например, жидкость в одной части и твердое тело в другой). Таким образом части могут служить прообразами разнородных зон расчетной области. По умолчанию все блочные элементы записываются в часть SOLID.








3. Части служат для упрощения работы в пакете, особенно для задач со сложной и нестандартной геометрией: их удобно использовать для ассоциации граней блоков с поверхностями, для этого достаточно указать имя части где находится поверхность; отображение ряда геометрических и блочных объектов можно отключать, чтобы они не мешали при построении остальной геометрической и сеточной модели.

При нажатии правой кнопкой по уже созданным частям можно путём выбора **Add to Part** открыть меню добавления геометрии в часть (рис. 11).



Меню добавления геометрии в часть

Рис. 11

Выделение или снятие выделения  переводит мышь либо в режим выделения геометрии, либо в режим перемещение-вращение (зажатие колёсика в режиме перемещения позволяет двигать геометрию, а в режиме выбора геометрии добавляет выделенные элементы во введённую часть). Для выбора точек, кривых, плоскостей, тел надо соответственно снять или поставить выделение над кнопками:    , если надо выбрать уже существующую часть, то следует нажать на кнопку , в появившемся меню поставить галочки напротив нужных частей и нажать **Accept**. Помимо этого можно выделять все элементы попадающие в квадратную область, для чего надо зажать левую кнопку мыши и обвести все необходимые объекты, при этом если выделена кнопка , то выбраны будут только объекты целиком вошедшие в область, в противном случае выделено будет всё то, что попало в эту область хотя бы краем.

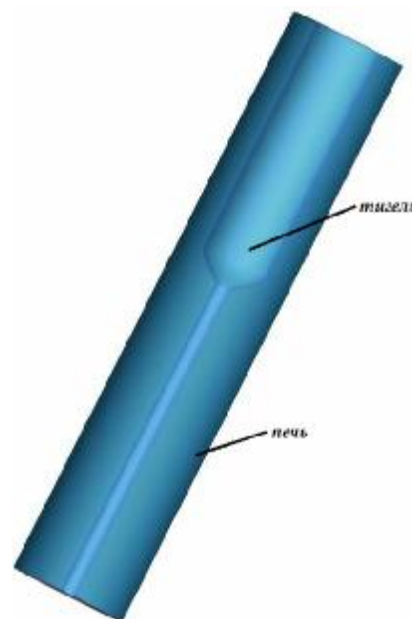
Для того чтобы добавить объекты в часть необязательно пользоваться пунктом **Add to Part**, можно нажать кнопку **Create Part** (т.е. создать часть) предварительно щёлкнув правой кнопкой на слове *Part* и ввести имя уже существующей части.

Отметим, что один объект (точка, плоскость, блок), может быть отнесён лишь к одной части, при добавлении элемента в одну часть происходит автоматическое исключение его из всех остальных.

Приложение

В приложении рассматривается построение сетки в пакете *ANSYS ICEM CFD* на примере гидрогазодинамической задачи разогрева и течения расплавов в тигле и воздуха в термопечи (рис 12).

Построение геометрии и сетки для подобной расчетной области производится согласно этапам, описанным в методическом пособии.






Геометрия расчетной области
Рис. 12

1. Построение геометрии.

1.1. Построение точек. Точки строятся, используя



опцию *Geometry->Create Point->Explicit Coordinates: XYZ* :

<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>
0	0	0
2.875	0	0
0	0	2.875
4	0	0
0	0	4
29	0	0
0	0	29
0	164	0
2.875	164	0
0	164	2.875
4	164	0
0	164	4
0	179	0
15.5	179	0
0	179	15.5
17	179	0
0	179	17
0	296	0
15.5	296	0
0	296	15.5
17	296	0
0	296	17
29	296	0
0	296	29

1.2. *Построение линий.* Линии строятся с использованием опций *Geometry->Create/Modify Curve->From Points*  (для построения прямых) и *Geometry->Create/Modify Curve->Circle from Center and 2 Points*  для построения окружностей. Далее производится скругление прямых линий в конической части тигля (рис. 13) с помощью опции *Geometry->Create/Modify Curve->Modify curves*  -*Match curves*.



Скругление линий в конической части тигля
Рис. 13

1.3. *Построение поверхностей.* В расчетной области необходимо построить те поверхности, на которых впоследствии будут задаваться граничные условия (рис. 14). Это внутренняя и внешняя стенки тигля, стенка печи, верхняя и нижняя граница тигля, его стенок и печи. Вертикальные поверхности строятся с использованием опций *Geometry->Create/Modify Surfases->Curve Driven* . После их построения программа автоматически создает линии, ограничивающие эти поверхности. Далее, с помощью опции *Geometry->Create/Modify Surfases->From Curves* , строятся горизонтальные круговые и кольцевые поверхности.




Поверхности
Рис. 14

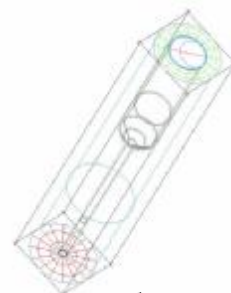
2. Разбиение расчетной области на части

После построения геометрии рационально разбить поверхности на части в соответствии с будущими границами расчетной области. Для этого в дереве видов необходимо нажать правой клавишей мыши на вкладку *Parts* и выбрать опцию *Create part*. В открывающемся окне следует указать название создаваемой части (будущей границы расчетной области) и выбрать геометрию, которую к этой части необходимо отнести. Отметим, что для формирования


границ расчетной области достаточно добавлять в создаваемую часть только поверхности. Для данной расчетной области необходимо создать следующие границы: внутренняя стенка тигля (WALLTIG), внешняя стенка тигля (WALLTIGST), стенка печи (WALLFUR), вход в тигель (INTIG), верхняя часть стенок тигля (TOPTIG), вход в печь (INFUR), выход из тигля (OUTTIG), нижняя часть стенок тигля (BOTTMOTIG), выход из печи (OUTFUR).

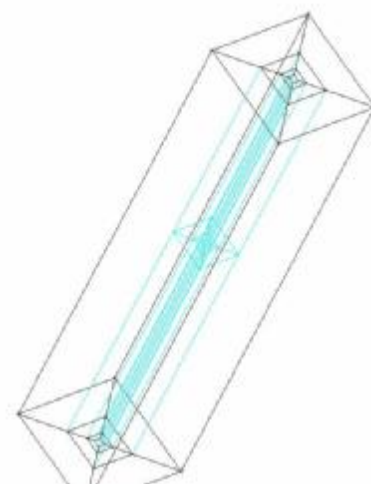
3. Построение блочной структуры

3.1. *Создание блоков.* Создание блоков (рис. 15) производится с помощью опции *Bloking->Create Block3D ->Initialize Block*  - *3DBounding Box*.




Построение блока на существующей геометрии
Рис. 15



3.2. *Деление блоков.* Созданный блок необходимо расщепить так, чтобы граница расчетной области могла быть единственным образом ассоциирована с одной из граней блока. Для этого необходимо создать структуру, показанную на рис 16. Подобная структура создается с помощью опций *Bloking->Split Blok->O-grid Block*  (для расщепления на нулевую решетку) и *Bloking-*




Расщепление блока
Рис. 16

>Split Blok->Split Blok  (для разъединения требуемых блоков на две вертикальные части). Отметим, что исходный блок делится на 4 нулевых решетки, хотя в соответствии с геометрией расчетной области достаточно было бы создать всего 3 решетки. Четвертая внутренняя решетка создается для того, чтобы обеспечить отсутствие треугольных элементов в сетке в области внутри тигля.

Далее целесообразно модифицировать блочную структуру в зоне стенок тигля. Математическая модель включает в себя теплопередачу через стеклянные стенки тигля, поэтому все блоки, отвечающие за эти стенки необходимо выделить в отдельную часть - GLASS, внутри которой в решателе будет задано твердое тело (стекло), в то время как во всей остальной расчетной области будут находиться жидкости (плавящийся в тигля материал, воздух).

3.3. *Ассоциация блоков.* Ассоциация вершин блока с точками производится с помощью опции *Bloking->Bloking Associations->Associate Vertex* . Ассоциация граней с линиями производится с помощью опции *Bloking->Bloking Associations->Associate Edge to Curve* , ассоциация ребер блока с поверхностями (строго говоря, наложение сторон блока на созданные в п.2

3.5. Проверка качества сетки. Для начала отобразим на экране прообраз сетки (рис.19), активировав галочку *Model->Blocking->Pre-Mesh* во вкладке дерева видов. Если при этом визуально ошибок в прообразе сетки не найдено, это не всегда означает, что построена секта высокого качества. Для более детальной проверки пакет содержит ряд опций. Одной из наиболее эффективных является диаграмма качества, с помощью которой можно выявить неявные ошибки в прообразе сетки (в большинстве случаев так называемые отрицательные объемы – вырожденные элементы), а так же найти элементы, обладающие плохим качеством (в большинстве случаев гексаэдрические элементы со слишком острыми или тупыми углами). Построение диаграммы качества осуществляется с помощью опции *Blocking->Pre-Mesh Quality* . Для данной задачи диаграмма качества приведена на рис. 20. Из данной диаграммы качества следует, что качество сетки можно считать весьма высоким. При этом худшие элементы сконцентрированы в зоне конической части тигля, что естественно ввиду особенностей геометрии расчетной области.



Прообраз сетки
Рис. 19

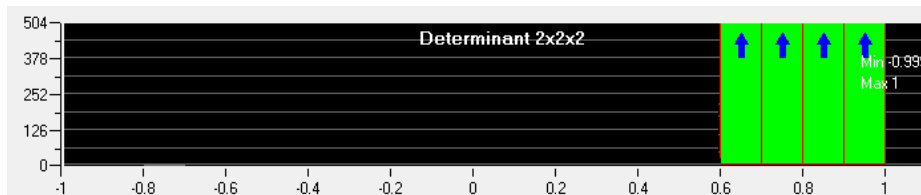


Диаграмма качества

Рис. 20

4. Создание сетки

Создание сетки производится с помощью опции *Model->Blocking->Pre-Mesh->Convert To Unstruct Mesh* во вкладке дерева видов. После создания сетки ее можно экспортировать в решатель. На этом процесс построения сетки в пакете *Ansys Icem CFD* можно считать завершенным.

Список литературы

1. Documentation for ANSYS ICEM CFD 13.0, © SAS IP, Inc., 2011.
2. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей. М. Мир, 1991, в 2-х т.
3. Хитрых Д.: Обзор сеточных возможностей сеточного генератора ICEM CFD версии 12.0. Часть 1.// Ansys Advantare. – 2009. - №10-44-47 с.
4. Хитрых Д.: Обзор сеточных возможностей сеточного генератора ICEM CFD версии 12.0. Часть 2.// Ansys Advantare. – 2009. - №11-41-44 с.
5. Андерсон Д., Таннехил Дж., Плетчер Р. Вычислительная гидромеханика и теплообмен: В 2-х т.: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990.

Любимов Александр Константинович
Шабарова Любовь Васильевна

МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ СЕТОК В ПАКЕТЕ ANSYS ICEM CFD

Электронное методическое пособие

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования «Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского».
603950, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23.