

## 1.16. МЕТОДИКА CFD-АНАЛИЗА МОДЕЛИ

**Цель лекции:** изучение методика CFD-анализа модели.

### 1.16.1. ПОДГОТОВКА 3D МОДЕЛИ

В общем случае, любая задача вычислительной гидро- и газодинамики решается в несколько последовательных этапов:

- подготовка 3D модели;
- создание проекта расчета;
- проведение вычислений;
- анализ результатов (с визуализацией).

В данном разделе описана последовательная методика проведения анализа тепловых режимов для модулей I и II уровня изделий приборостроения (ячейки и блоки).

Она охватывает весь набор действий, необходимых для проведения теплового расчета с помощью модуля CFD-анализа, начиная с подготовки 3D-модели устройства к расчету и заканчивая анализом результатов расчета с использованием инструментов визуализации.

Это начальный этап анализа, который заключается в подготовке (идеализации) или создании 3D-модели моделируемого устройства с учетом требований модуля тепловых расчетов, а также для оптимизации конструкции. Цель подготовки – сократить время проведения анализа с одновременной поддержкой целостности модели и обеспечением достоверности полученных результатов. На этом этапе конструктору нужно внимательно изучить модель и ответить на ряд вопросов:

1) Является ли областью интереса вся модель или лишь ее часть?

Важно понять, какую часть модели конструктор собирается моделировать. Если областью интереса является, например, только часть блока, нет смысла подготавливать к расчету остальную часть изделия, если в тепловом смысле она не связана с интересующей конструктора частью и не оказывает влияния на результаты анализа. Более того, если общая 3D модель имеет высокую сложность и большое количество элементов, имеет смысл выделить интересующую часть модели в отдельный файл, и работать только с ним, заменив, если это требуется, остальную часть изделия идеализированными нагрузками/ограничениями.

2) Имеет ли модель объекты со сложной геометрией?

Если модель имеет большое количество деталей со сложной геометрией, следует упростить их. Следует удалить фаски, скругления (если их наличие не представляет особой важности). Также во многих случаях имеет смысл удалить монтажные отверстия в корпусе, переходные отверстия в печатной плате,

физическое представление резьбы на элементах. Упрощенная модель значительно упрощает генерацию сетки решателя и экономит вычислительные ресурсы. Для особенно сложных моделей подобная подготовка – это обязательное условие возможности проведения расчета в принципе.

3) Имеются ли элементы со сложной внутренней структурой?

Если модель содержит в себе компоненты со сложной внутренней структурой (например, 3D-модель микросхемы с внутренней , состоящей, в частности, из основания, кристалла, выводов, проволочных соединений и пр.), и при этом, модуль теплового анализа имеет функционал моделирования этого типа компонентов с использованием простейшей геометрии, следует заменить компонент на его упрощенную модель.

4) Есть ли элементы сборки, заведомо не влияющие на тепловой режим устройства?

Если модель содержит детали, которые важны для конструкции реального устройства, но не имеют никакого смысла в разрезе решения задачи теплового анализа (крепежные детали, таблички, гравировка, пломбы, клипсы и др.), такие детали следует удалить. Это так же упростит генерацию сетки решателя и снизит вычислительную сложность расчета.

После выполнения всех этих действий и сохранения преобразованной модели, можно переходить к созданию проекта теплового расчета.

### 1.16.2. СОЗДАНИЕ ПРОЕКТА РАСЧЕТА

Данный этап относится к непосредственному созданию проекта расчета с помощью модуля FloEFD. Самый простой и удобный способ создать новый проект – воспользоваться мастером проекта.

Ниже рассмотрена последовательность действий по созданию проекта с помощью мастера проектов.

1. Задать имя проекта и выбрать конфигурацию сборки, для которой будет выполнен расчет (рис. 1.137).

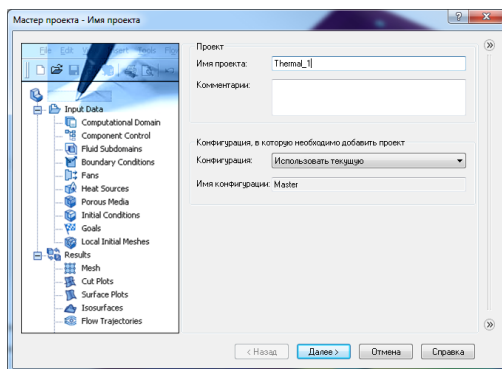


Рис. 1.137. Назначение имени проекта

2. Определить систему единиц измерения (рис. 1.138). При необходимости, изменить единицы измерения.

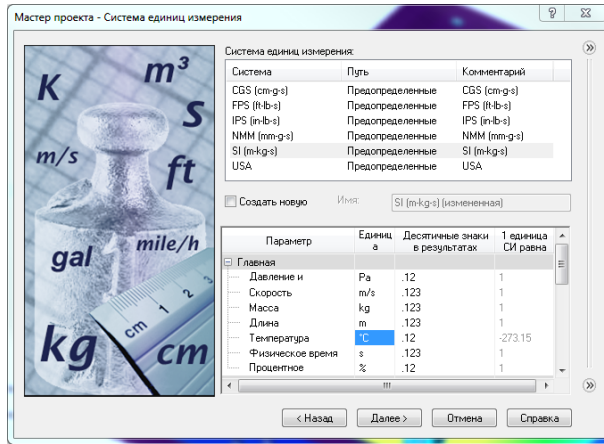


Рис. 1.138. Выбор системы единиц измерения

3. Определить тип задачи и выбрать физические модели для расчета (рис. 1.139).

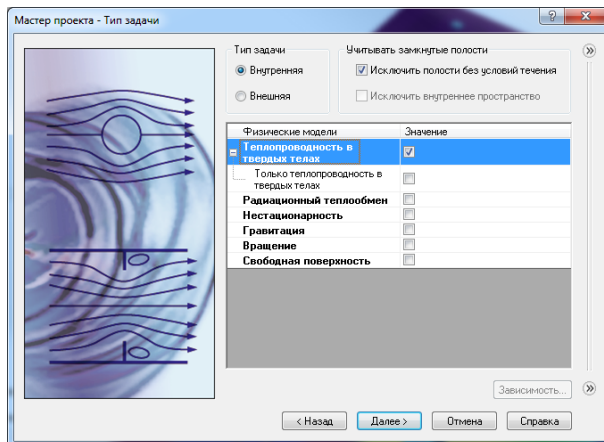


Рис. 1.139. Выбор типа задачи и физической модели

Задачи бывают двух типов: внутренняя и внешняя. Задача может считаться внутренней, когда имеется ограниченная и замкнутая область расчета. В случае электронных блоков, этим ограничением является корпус.

Задача является внешней, когда у модели нет четко ограниченной области пространства и она целиком помещена в поток среды. Границы расчетной области в этом случае расположены на некотором расстоянии от модели. Если в задаче учитывается внутреннее и внешнее течение одновременно (например,

обтекание здания потоком воздуха и течение внутри него), то в системе Fluent эту задачу необходимо рассматривать как внешнюю.

Если модель обеспечивает замкнутую область пространства, либо возможно внести незначительные изменения, чтобы замкнуть область, предпочтительнее воспользоваться внутренним типом задачи. Она вычислительно проще и дает более качественные результаты.

Перечисленные ниже физические модели следует выбирать с учетом решаемой задачи.

#### *Теплопроводность в твердых телах*

Если в задаче необходимо учитывать теплопередачу в твердых телах, контактирующих с текучей средой (т.е. решается задача сопряженного теплообмена), следует включить эту опцию.

#### *Радиационный обмен*

Если в задаче сопряженного теплообмена необходимо учитывать теплообмен излучением, следует включить эту опцию.

#### *Нестационарность*

Если задача является нестационарной, необходимо выбрать данную опцию. При решении нестационарной задачи требуется задать интервал физического времени задачи. Для этого нужно задать параметры «Общее время задачи» и «Временной шаг выдачи результатов». Последняя опция позволяет воспроизвести динамику протекающих процессов, но требует проведения множества расчетов (по одному расчету на каждую временную метку).

#### *Гравитация*

Если в задаче необходимо учитывать гравитационные эффекты, следует включить опцию Гравитация и задать X, Y и Z компоненты вектора гравитационного ускорения в Глобальной системе координат. Выбор этой опции также необходим, если требуется учитывать конвективные потоки охлаждающей среды.

#### *Вращение*

Данная опция необходима в том случае, когда модель содержит вращающиеся элементы (например, крыльчатку вентилятора охлаждения).

4. Назначить текучую среду по умолчанию (рис 1.140).

В этом окне назначается текучая среда по умолчанию. Как правило, это воздух. При этом, если необходимо моделировать теплопередачу в условиях пониженного давления или вакуума, есть возможность учитывать теплопередачу только в твердых телах, выключив учет теплопередачи в среде, выбрав в предыдущем окне параметр «Только теплопроводность в твердых телах».

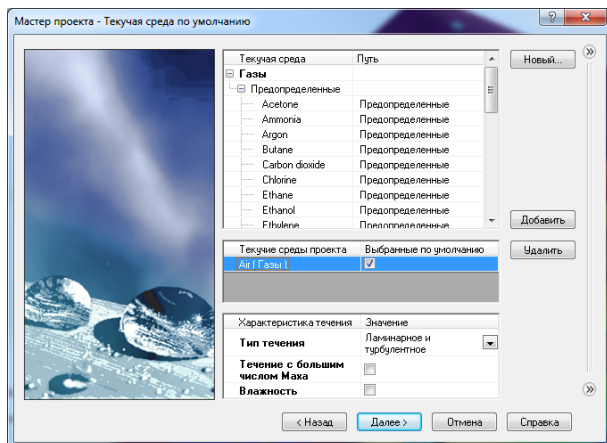


Рис. 1.140. Выбор текучей среды по умолчанию

5. Выбрать материал твердого тела по умолчанию (рис. 1.141).

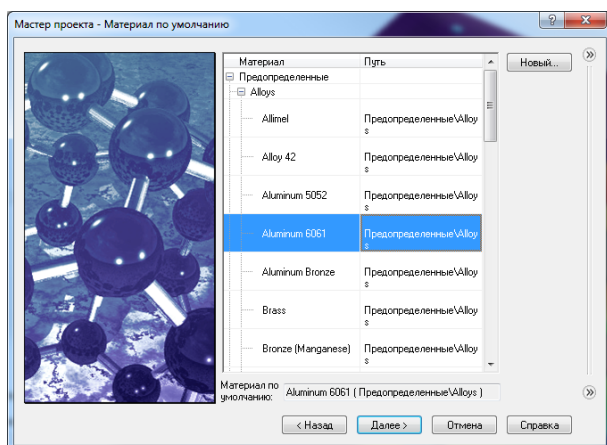


Рис. 1.141. Выбор материала твердого тела по умолчанию

Этот материал будет применен ко всем объектам модели, если им вручную не был присвоен другой материал. Имеет смысл выбирать тот материал, из которого сделано большинство объектов модели. Впоследствии, всем объектам, которые имеют отличный от выбранного в данном пункте материал, следует назначить их собственные материалы с помощью инструмента «Материалы»

## 6. Задать условия на стенках по умолчанию (рис. 1.142).

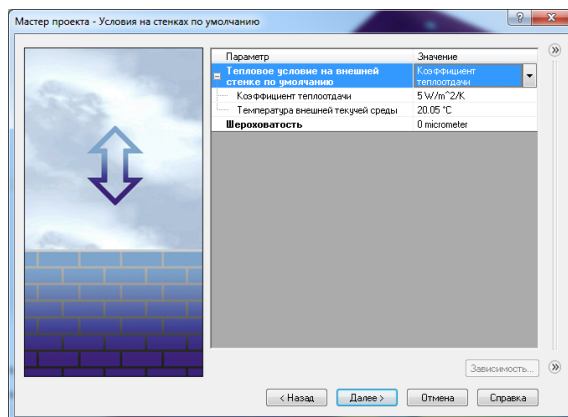


Рис. 1.142. Выбор условий на стенках по умолчанию

В данном пункте указываются базовые условия на внешних стенках модели. Есть возможность задать шероховатость поверхности. В случае, если задача является Внутренней, есть возможность задать тепловое условие на внешней стенке. Таким образом, можно учитывать внешние теплопотери с корпуса устройства.

## 7. Задать общие начальные условия (рис. 1.143).

В этом окне задаются начальные условия среды, в которой находится моделируемое устройство.

После завершения создания проекта необходимо определить остальные параметры расчета.

В первую очередь, если задача является внутренней и в модели имеются вентиляционные отверстия, которые не были закрыты на этапе подготовки 3D-модели, необходимо «закрыть» их с помощью инструмента «Создание заглушек». Это позволит замкнуть внутренний объем модели и соблюсти требования внутреннего типа задач к ограниченности области расчета.

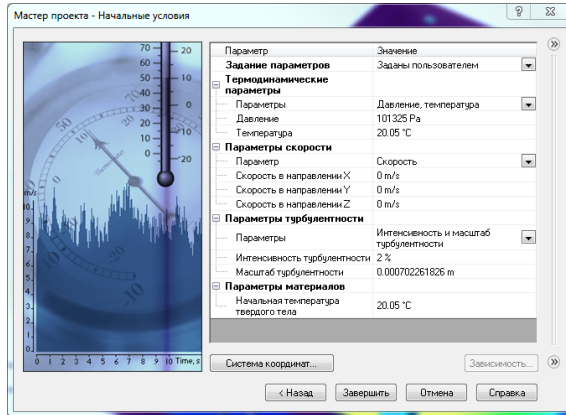


Рис. 1.143. Назначение общих начальных условий среды

8. Далее нужно определить условия в боковом меню (рис. 1.144).

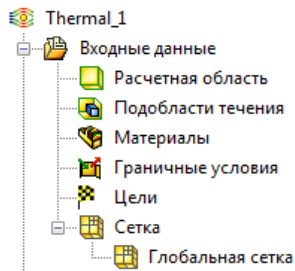


Рис. 1.144. Боковое меню с деревом проекта

Последовательно зададим параметры для каждого пункта:

*Расчетная область*

Проверяется правильность определения расчетной области. При необходимости – корректируется.

*Подобласти течения*

Если проект содержит подобласти с текучей средой, отличной от базовой (например, система водяного охлаждения процессора), то необходимо в этом пункте указать параметры данной подобласти.

*Материалы*

В этом разделе всем элементам модели, материал которых отличается от базового, назначается соответствующий им материал из библиотеки материалов.

*Условия*

Один из важнейших разделов проекта. Здесь определяются все граничные и внутренние условия, характеризующие работу проектируемого устройства (рис. 1.145).

Система FloEFD имеет как набор основных граничных условий, так и большой список специальных условий для моделирования конкретных типов элементов. Рассмотрим основные из них:

### *Граничное условие*

Граничное условие назначается на границах расчетной области в задачах внутреннего типа и описывает параметры взаимодействия с внешней средой. Например, граничное условие «Давление окружающей среды» назначается созданным ранее заглушкам вентиляционных отверстий, тем самым показывая модулю расчета, что области на самом деле являются выходными отверстиями. При этом, контур по-прежнему остается замкнутым. Также, возможно указывать области с постоянным давлением или постоянной скоростью потока на входе или выходе.

### *Объемный/поверхностный тепловой источник*

Эти условия назначаются всем источникам нагрева в модели. В зависимости от того, является ли объект источником нагрева или к нему приложено внешнее тепловое воздействие, выбирается объемный или поверхностный вариант соответственно.

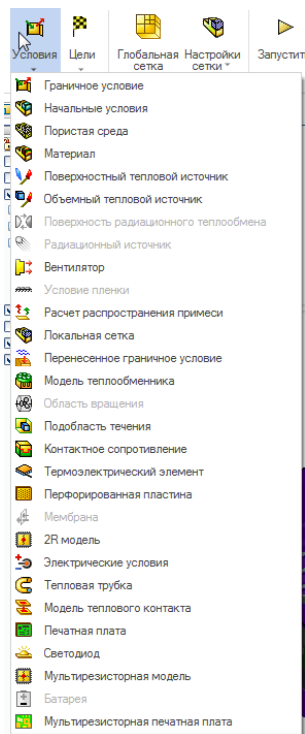


Рис. 1.145. Список доступных общих и специальных условий



*Поверхность радиационного теплообмена*

Инструмент позволяет задать излучающие поверхности в случае использования физической модели радиационного обмена.

*Вентилятор*

При использовании упрощенной модели вентилятора с использованием графика аэродинамических характеристик данный инструмент дает возможность задать плоскости входа и/или выхода потока и задать параметры этого потока.

*Термоэлектрический элемент*

Здесь назначаются граничные условия для элементов Пельтье. Выбирается модель элемента из библиотеки моделей и назначается величина протекающего через него тока.

*2R-модель*

Если на этапе подготовки 3D-модели элементы со сложной внутренней структурой, такие как микросхемы, были заменены их упрощенным представлением, данный инструмент позволяет смоделировать их тепловые параметры и применить их к упрощенной 3D-модели элемента, а также задать мощность тепловыделения компонента.

*Электрические условия*

Инструмент позволяет применять условия протекания электрического тока через проводящие материалы, тем самым моделируя Джоулев нагрев проводника при протекании тока.

*Тепловая трубка*

Позволяет назначить упрощенной модели тепловой трубки физические параметры реальной трубки без необходимости моделировать ее внутреннюю структуру и фазовые переходы теплоносителя.

*Печатная плата*

Инструмент позволяет использовать упрощенную модель печатной платы без прорисовки проводников и переходных отверстий. При этом, сохраняется общая теплопроводность конкретной платы и учитывается анизотропная теплопроводность тела.

## 8. Определить цели расчета.

Поскольку задачи моделирования гидро- и газодинамики решаются не аналитическими, а численными методами, решателю нужно задать критерии сходимости расчета, чтобы остановить перебор параметров при достижении удовлетворительного результата. Для этого нужно задать цели расчета (рис. 1.146, 1.147).

Цели могут быть глобальными и характеризовать параметры системы в целом, а могут быть локальными, отслеживающими только определенный набор элементов модели.

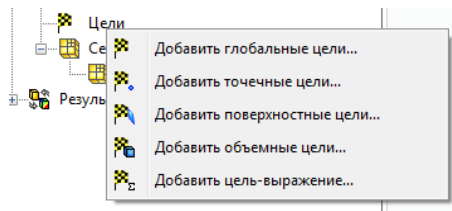


Рис. 1.146. Список доступных целей расчета

Отлеживаемым параметром может быть множество физических характеристик среды, включая различные виды давления, температуру твердого тела или текучей среды, скорости воздушного потока, массовый и объемный расход среды и др.

9. Настроить сетку решателя.

Заключительным этапом настройки параметров является настройка сетки решателя (рис. 1.148).

В целом, настройка сводится к заданию двух параметров: размера базовой сетки (с помощью ползунка) и включение функции улучшения разрешения каналов. Особенность процесса настройки в том, что от пользователя не требуется глубоких знаний по созданию сетки КЭ, которыми обладает специалист-расчетчик. Это позволяет конструктору сгенерировать качественную сетку, не обладая глубокими знаниями по процессу генерации.

Второй пункт настроек особенно полезен и является отличительной особенностью системы FloEFD. Он позволяет, при наличии базовой сетки довольно малого разрешения, динамически увеличивать ее разрешение в местах с малыми элементами и там, где требуется высокая точность расчетов. Таким образом значительно снижается количество ячеек сетки, при этом сохраняется высокая точность расчета в важных местах.

После назначения всех параметров, можно приступать к запуску расчета.

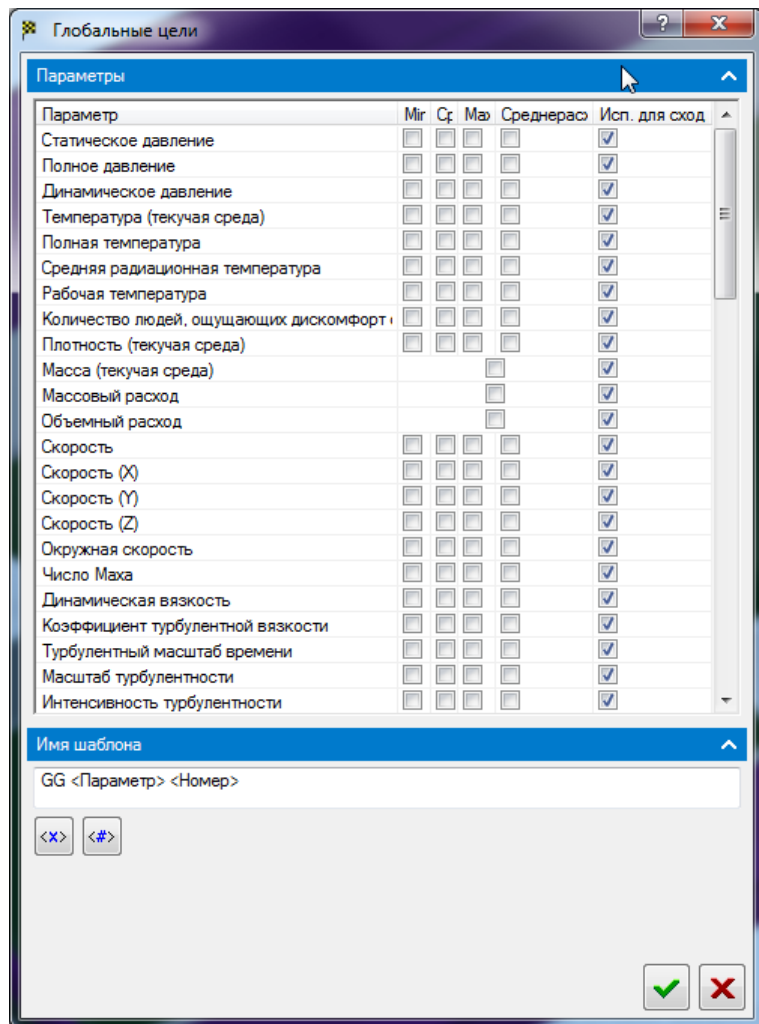


Рис. 1.147. Окно параметров при создании цели

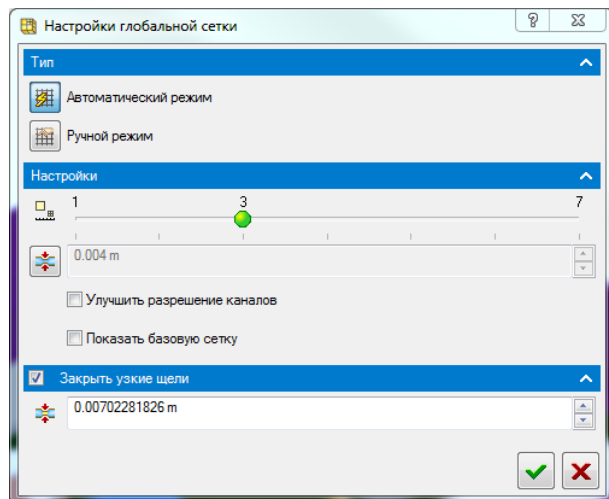


Рис. 1.148. Настройка параметров генерации сетки решателя

### 1.16.3. ПРОВЕДЕНИЕ ВЫЧИСЛЕНИЙ

На этом этапе осуществляется запуск решения. В процессе решения будет сгенерирована сетка, применены заданные граничные условия и проведен расчет до достижения заданных целей.

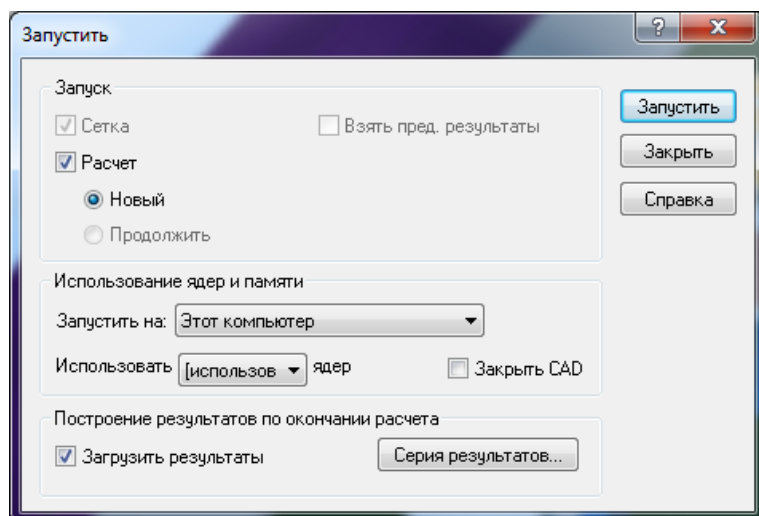


Рис. 1.149. Окно запуска расчета

На рис. 1.149 показаны опции запуска расчета. Окно позволяет назначить, на какой вычислительной машине будет производиться расчет (на локальной или удаленной). Вариант расчета на удаленной машине может быть целесооб-

разен при наличии высокопроизводительного сервера, который может обслуживать сразу несколько пользователей. В этом случае требования к производительности компьютера – клиента снижаются.

При использовании локальной вычислительной машины есть возможность определить количество используемых ядер. Это позволит продолжить работу на компьютере во время проведения вычислений.

Также возможна генерация сетки решателя без запуска расчета. В этом случае пользователь получает возможность отобразить сгенерированную сетку решателя, и, при необходимости, изменить параметры сетки и сгенерировать ее заново.

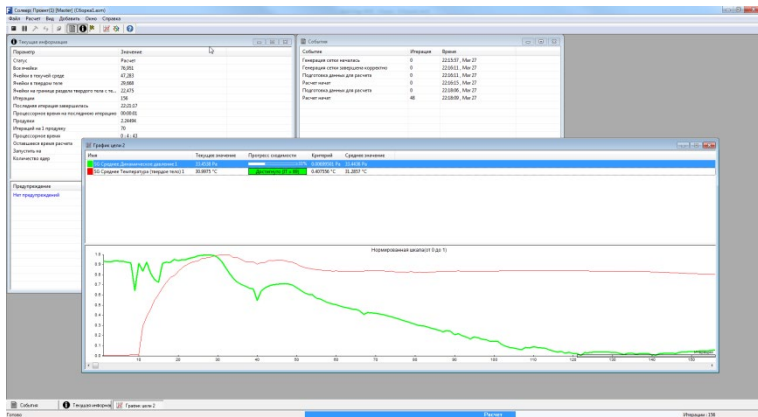


Рис. 1.150. Прогресс решения

На рис. 1.150 показан процесс итеративного расчета до достижения критериев сходимости.

## Тесты к лекции 16

1. Какая задача может считаться внутренней?
  - а) когда поток среды ограничен замкнутой областью;
  - б) когда имеется ограниченная и замкнутая область расчета;
  - в) когда границами расчетной области является параллелепипед.
  
2. Что описывает граничное условие?
  - а) параметры взаимодействия с внешней средой;
  - б) механические и тепловые взаимосвязи между деталями сборки;
  - в) переход ламинарного потока среды в турбулентный.
  
3. Какими могут быть цели расчета? (Выберите один или больше правильных ответов.)
  - а) глобальными;
  - б) локальными;
  - в) глобальными и локальными.
  
4. Возможно ли настраивать точность сетки КЭ в CFD-системе?
  - а) нет, это невозможно;
  - б) да, это выполняет конструктор;
  - в) да, это выполняет сама CFD-система автоматически.
  
5. Возможно ли сгенерировать сетку КЭ без запуска расчета?
  - а) да, возможно;
  - б) да, возможно для простых задач;
  - в) после генерации сетки расчет запускается автоматически.