

Сквозное автоматизированное проектирование электронной аппаратуры

Лекция 15.

Инженерный анализ методом конечных элементов.
Анализ тепловых режимов

Анализ тепловых режимов

Анализ тепловых режимов

- Анализ стационарного теплообмена: расчет разницы температур для одного или нескольких элементов *при равновесии* (в стационарном состоянии).

При проектировании электрики и электроники можно:

- Рассчитать электрический нагрев разных компонентов.
- Смоделировать радиаторы охлаждения.
- Определить необходимые расстояния между критическими деталями.
- Определить области рециркуляции воздуха и места перегрева.
- Прогнозировать температуру, при которой компонент или печатная плата могут перегреваться и выходить из строя.

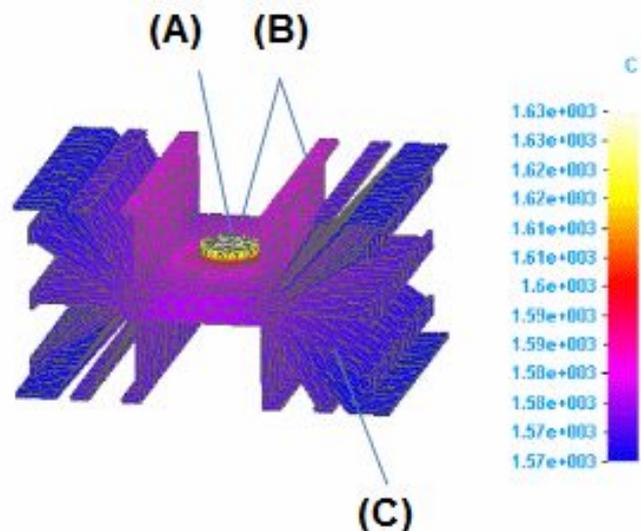
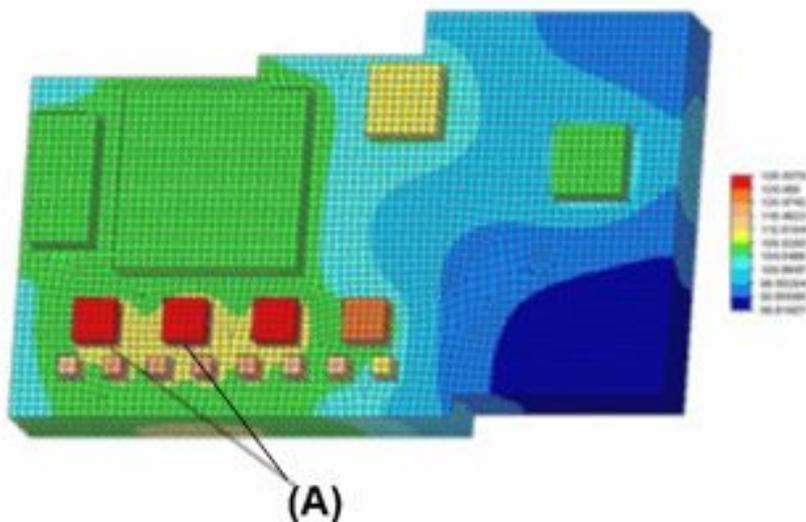
Дополнительные сценарии использования теплового анализа:

- Естественная или принудительная конвекция от передней и задней поверхностей.
- Проводимость от краев печатной платы до стенок корпуса.
- Проводимость через жесткие или гибкие контакты с другими печатными платами.
- Проводимость между печатной платой и монтажной рамой.
- Проводимость радиатора охлаждения.

Анализ тепловых режимов

Анализ тепловых режимов

Анализ стационарного теплообмена



- Микросхемы (A) определены как источник тепла.
- К поверхностям печатной платы применена нагрузка свободной конвекции.
- Результатом является график распределения температуры на печатной плате с указанными положениями минимального и максимального значений.

- Нагрузка тепловыделения применяется к источнику тепла (A).
- Нагрузка теплового потока применяется к поверхностям, которые отражают тепло от источника тепла (B).
- Для рассеяния тепла от модели применяется нагрузка свободной конвекции для всего радиатора (C) с помощью выбора всего элемента.
- В результате будет показан график распределения температуры.

Анализ тепловых режимов. Тип анализа

Доступные виды анализов:

- ❑ **Стационарный теплообмен**
Анализ тепловых режимов тела, когда оно достигает теплового равновесия.
- ❑ **Стационарный теплообмен + Линейная статика**
- ❑ **Стационарный теплообмен + Линейная устойчивость**
Анализ напряжений, деформаций и перемещений, возникающие при нагреве.

Есть два типа анализа стационарного теплообмена:

- **Линейный** – когда не учитываются излучение или температурозависимые свойства и граничные условия.
- **Нелинейный** – когда учитываются излучение или температурозависимые свойства и граничные условия.

Определение тепловых нагрузок и ограничений

Фиксированная температура

С помощью команды **Температура** можно задать непрерывную фиксированную температуру для выбранных элементов. Предполагается, что модель находится в тепловом равновесии.

Обмен тепловой энергией

Команды **Конвекция** и **Излучение**.

Тепловая мощность, тепловыделение или теплообмен

Команды **Тепловой поток** (для граней и поверхностей) и **Тепловыделение** (для тел в сборке).

Пример: Команда **Тепловой поток** или **Тепловыделение** позволяют рассчитать тепловую энергию, которая передается, например, через изоляционную/теплорассеивающую стенку конструкции. Чтобы уменьшить/увеличить теплообмен, можно определить оптимальную толщину стенки и выбрать лучший изоляционный/проводящий материал.

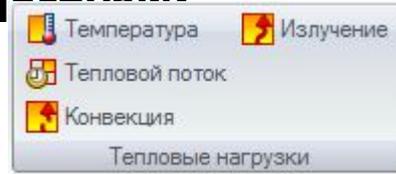
При использовании нагрузки **теплого потока** или **тепловыделения** необходимо определить механизм рассеяния тепла, например нагрузку **конвекции** или нагрузку **температуры**.

Тепловые нагрузки

Группа команд **Тепловые**

нагрузки

Тепловые нагрузки
для деталей

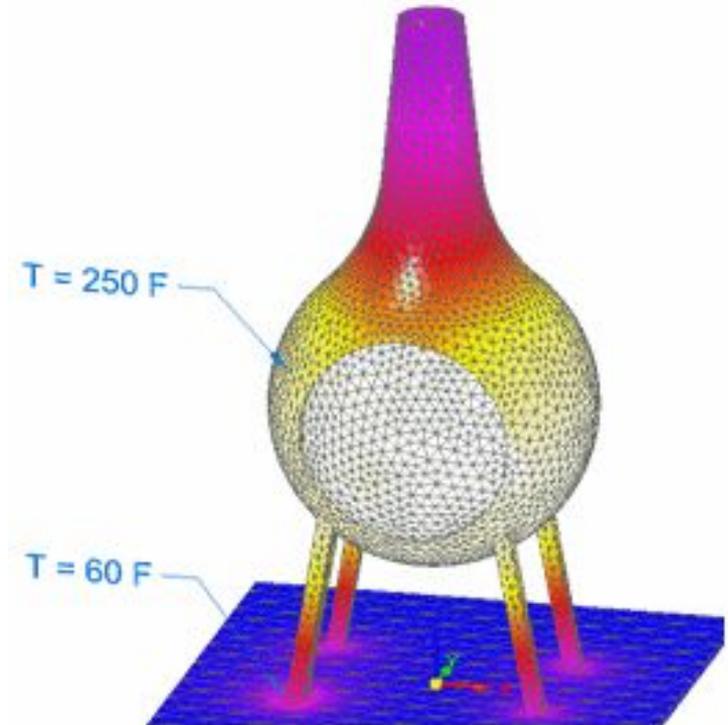


Тепловые нагрузки
для сборок



В тепловом анализе, таком как стационарный теплообмен или связанный тепловой анализ, можно использовать следующие **типы нагрузок**:

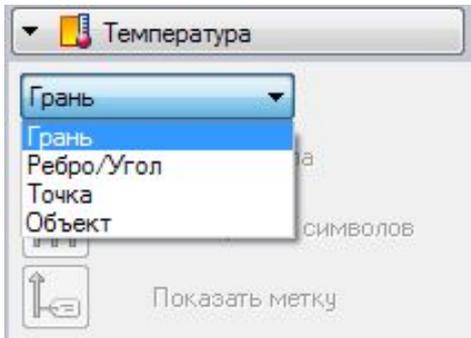
- ✓ Температурные нагрузки
- ✓ Нагрузки теплового потока
- ✓ Нагрузки тепловыделения
- ✓ Нагрузки конвекции
- ✓ Нагрузки излучения
- ✓ Тепловые нагрузки, используемые как ограничения



Температурные нагрузки

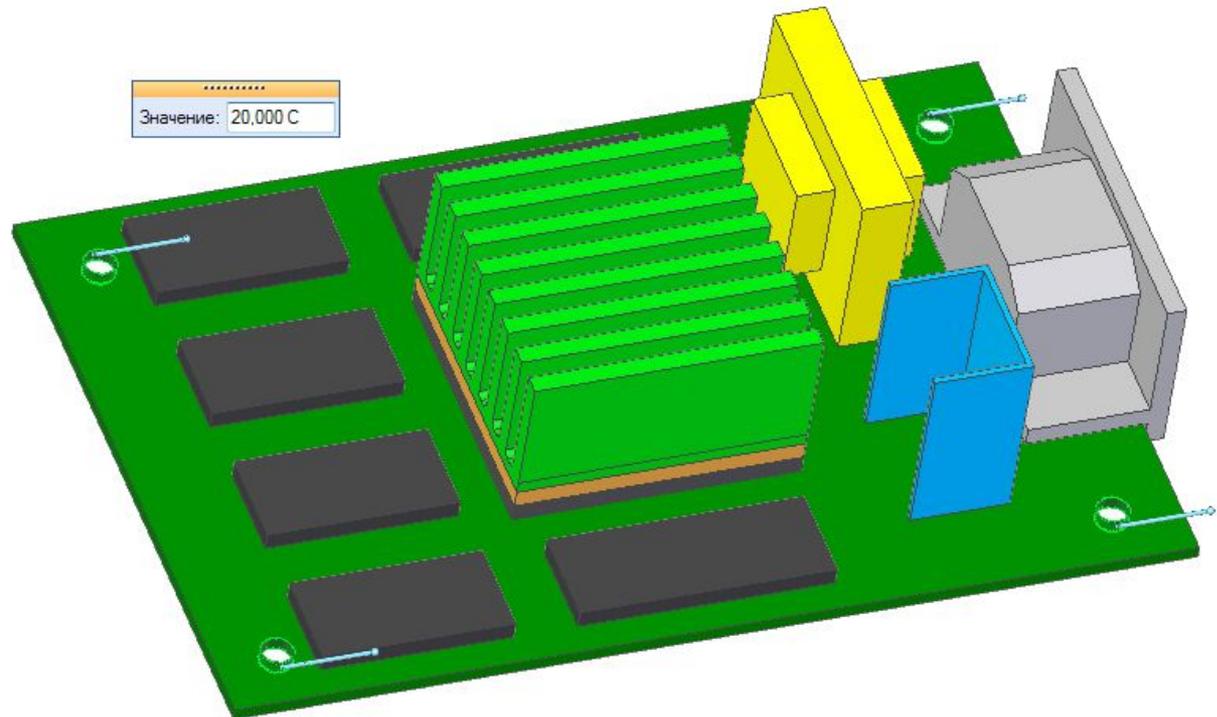
Используйте команду нагрузки **Температура**  , когда:

- Нужно применить разные температурные нагрузки.
- Нужно применить нагрузку температуры к выбранным элементам *или* ко всему телу.
- Время достижения теплового равновесия *не* является предметом анализа.

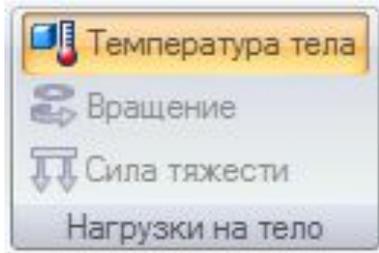


В моделях сборок можно также выбрать тела.

Значение температурной нагрузки не может быть распределенным: если выбрано несколько элементов, то заданная температура применяется к каждому выбранному элементу.



Температурные нагрузки



В стационарном анализе теплообмена можно также использовать команду **Температура тела** из группы **Нагрузки на тело**:

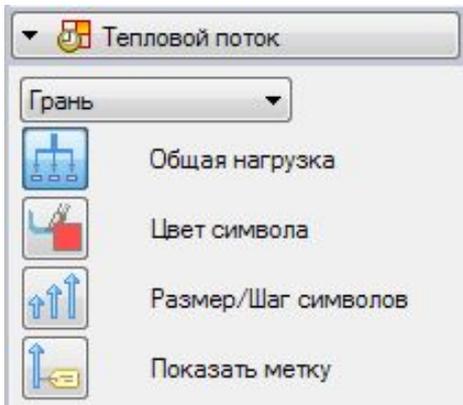
- ✓ Чтобы задать начальную температуру для ускорения расчета в NX Nastran.
- ✓ Как обязательную нагрузку для анализа с учетом **излучения**. Это обеспечивает, что для всех узлов и элементов будет назначена температура по умолчанию, даже если к ним не применена нагрузка.



Значение: 20,000 C

Нагрузки теплового потока

Команда нагрузки **Тепловой поток**  позволяет рассчитать тепловую энергию, передаваемую через единицу площади (поверхность, кривую, ребро, узел или точку) и определяет нагрузку тепловой мощности, тепловыделения или теплообмена.



| Элемент | Общая | Распределенная |
|------------------------|-----------|-------------------|
| Точка | Вт (Ватт) | Вт |
| Ребро | Вт | Вт/м |
| Грань | Вт | Вт/м ² |
| Конструктивный элемент | Вт | Вт/м ² |

+ : тепло входит в элемент модели.

- : тепло выходит из элемента

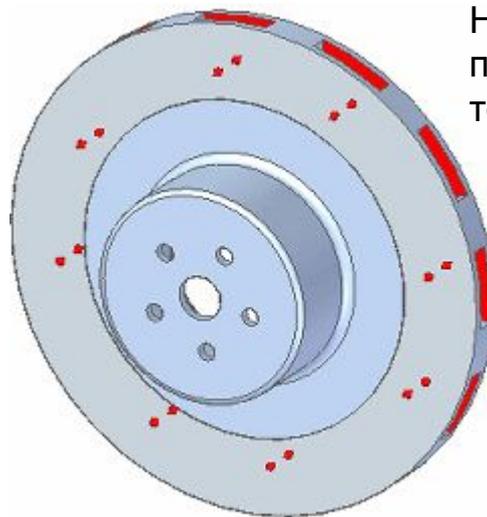
модели.



Распределение нагрузки:

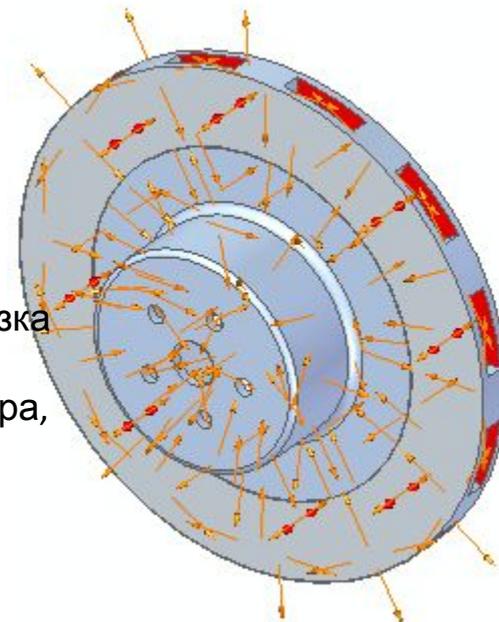
Вкл.: значение нагрузки распределяется между элементами.

Выкл: задается удельное значение потока на единицу длины или площади.

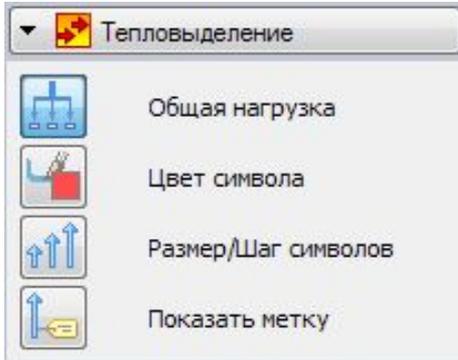


Нагрузка **Тепловой поток** применяется к поверхностям тормозного диска ротора.

Для расчета рассеяния тепла применяется нагрузка **Конвекция** ко всем поверхностям диска ротора, кроме поверхностей с заданной нагрузкой **Тепловой поток**.



Нагрузки тепловыделения



Команда нагрузки **Тепловыделе**  позволяет определить нагрузку тепловой мощности, тепловыделения или теплообмена для всего тела. Эта нагрузка задает скорость, с которой тепловая энергия передается через единицу объема (тело или компонент). Обычно это тепло должно проводиться до границ тела и удаляться путем конвекции или излучения.

Модель сборки содержит два рабочих тела: источник тепла (транзистор в центре) и радиатор охлаждения (тело с ребрами охлаждения).

Значение: Вт (общая нагрузка) либо Вт/м³ (распределенная).

+ : тепло входит в элемент модели.

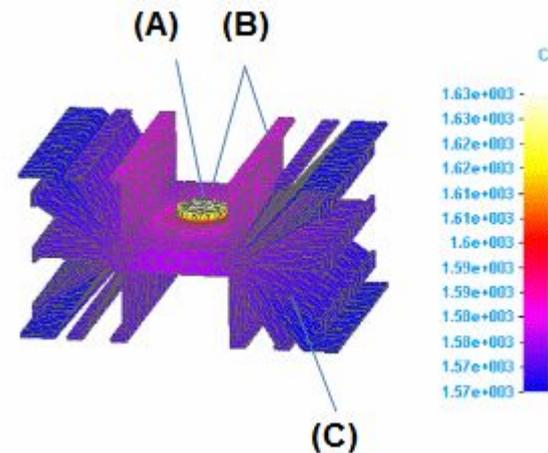
– : тепло выходит из элемента модели.



Распределение нагрузки:

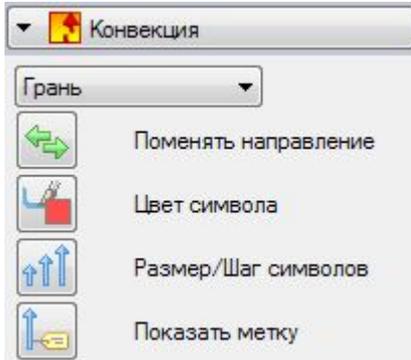
Вкл.: значение нагрузки распределяется между элементами.

Выкл: задается удельное значение потока на единицу объема.



- Нагрузка тепловыделения применяется к источнику тепла (A).
- Нагрузка теплового потока применяется к поверхностям, которые отражают тепло от источника тепла (B).
- Для рассеяния тепла от модели применяется нагрузка свободной конвекции для всего радиатора (C) с помощью выбора конструктивного элемента.

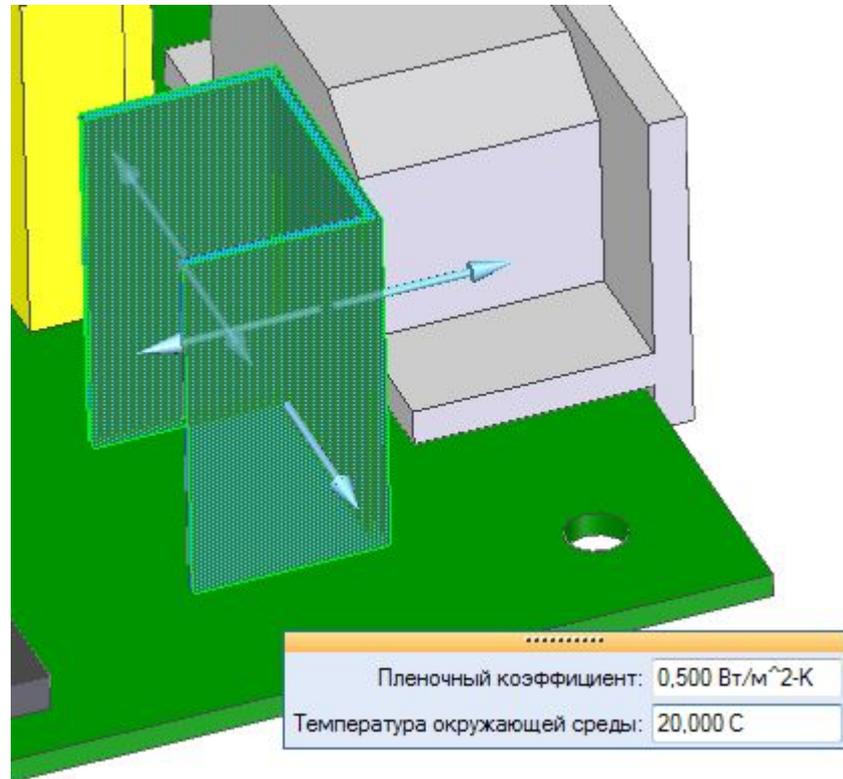
Нагрузки конвекции



Нагрузки конвекции  задают обмен тепловой энергией, когда газ или жидкость перемещаются от одной поверхности к другой или в окружающей среде из-за разницы температур. Нагрузка свободной конвекции позволяет рассчитать теплообмен при естественной конвекции.

Значения:

- Пленочный коэффициент – коэффициент конвективного теплообмена ($\text{Вт}/\text{м}^2\text{К}$).
Нулевые и отрицательные значения не допускаются.
- Температура окружающей среды
По умолчанию используется 20°C . Можно использовать нуль и отрицательные значения.



Типовые значения коэффициента конвективного теплообмена для естественной конвекции

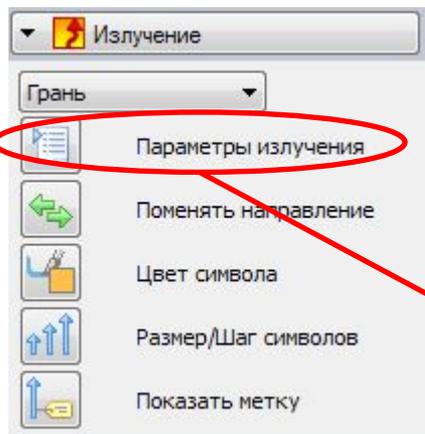
| Жидкость или газ (свободная конвекция) | Применение | Типичные значения коэффициентов (единицы) | |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------|
| | | (BTU / hr-ft ² F) | (Вт/м ² К) |
| Воздух | Объем вне перемещения воздуха (обычно стеклянное окно) | 0.1 - 0.5 | 0.5 - 2.5 |
| Вода | Поток в трубе | 0.5 - 20 | 20 - 100 |
| Жидкости | Жидкости внутри и снаружи трубы | 18 - 176 | 50 - 100 |
| Газы | Газы при атмосферном давлении внутри и снаружи трубы в теплообменнике | 0.2 - 3.5 | 2 - 25 |
| Кипящая вода | В ванне или контейнере | 440 - 6 200 | 2 500 - 3 500 |
| | Поток в трубе | 880 - 17 600 | 5 000 - 100 000 |
| Конденсация водяного пара при 1 атмосфере | Вертикальные поверхности | 700 - 2 000 | 4 000 - 11 300 |

Нагрузки излучения

Нагрузки излучения



задают теплообмен в результате электромагнитного излучения, испускаемого поверхностью или телом. Теплообмен происходит, когда испускаемое излучение сталкивается с другой поверхностью или телом и поглощается, отражается или передается другому элементу.



Излучение

В пространстве

Нагрузка излучения, которая определяет обмен излучением между гранью или поверхностью и **бесконечным пространством (черным телом)**

В замкнутом объеме

Нагрузка излучения, которая определяет обмен излучением между группой поверхностей

Излучение испускают тела с температурой выше 0° Кельвина.

Нагрузки излучения распределяются равномерно по выбранной геометрии.

Нагрузки излучения

Излучение в пространстве

Параметры нагрузки излучения

Тип излучения: Излучение в пространстве

Температура окружающей среды: 0,000 C

Коэффициент черноты поверхности: 1,000 (0-1,0)

Коэффициент поглощения: 1,000 (0-1,0)

Коэффициент излучения: 1,000 (0-1,0)

Число пустот: 1

Экранировать другие поверхности

Экранироваться другими поверхностями

OK Отмена Справка

Коэффициент черноты поверхности

Задаёт способность поверхности поглощать или испускать тепловую энергию относительно черного тела. Можно использовать значения от 0 до 1. Тело с коэффициентом черноты 1 может поглощать или испускать 100% излучения.

Коэффициент поглощения

Задаёт способность поверхности поглощать тепловую энергию. Можно использовать значения от 0 до 1.

Коэффициент излучения

Задаёт долю энергии, покидающей поверхность и достигающей другой поверхности или пространства. Можно использовать значения от 0 до 1.

Нагрузки излучения

Излучение в замкнутом объеме

Параметры нагрузки излучения

Тип излучения: Излучение в замкнутом объеме

Температура окружающей среды: 0,000 С

Коэффициент черноты поверхности: 1,000 (0-1,0)

Коэффициент поглощения: 1,000 (0-1,0)

Коэффициент излучения: 1,000 (0-1,0)

Число пустот: 1

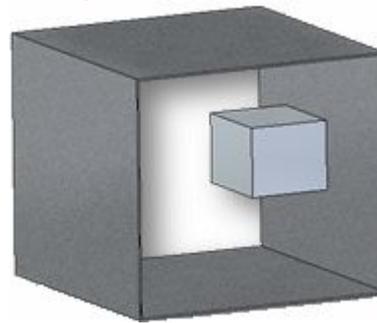
Экранировать другие поверхности

Экранироваться другими поверхностями

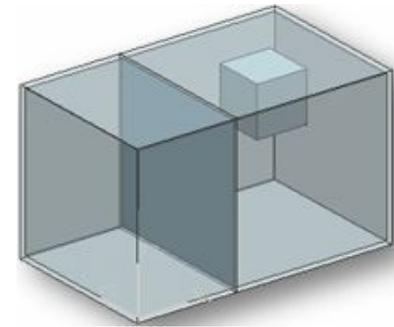
OK Отмена Справка

Число пустот

Задаёт число пустот или замкнутых объемов. Это необходимо, даже если используется только одна пустота. Поверхности в каждой пустоте полностью независимы от других пустот. Они не отбрасывают тень и не экранируют иные поверхности, кроме как в их



Число пустот = 1



Число пустот = 2

Значения должны быть целыми числами. По умолчанию (минимум) используется 1.

Нагрузки излучения

Излучение в замкнутом объеме

Параметры нагрузки излучения

Тип излучения: Излучение в замкнутом объеме

Температура окружающей среды: 0,000 С

Коэффициент черноты поверхности: 1,000 (0-1,0)

Коэффициент поглощения: 1,000 (0-1,0)

Коэффициент излучения: 1,000 (0-1,0)

Число пустот: 1

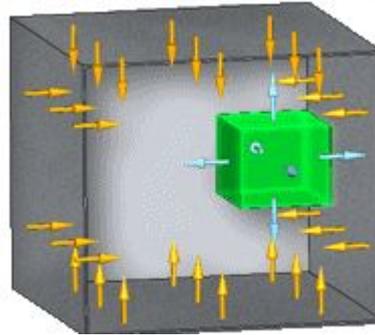
Экранировать другие поверхности

Экранироваться другими поверхностями

OK Отмена Справка

Экранировать другие поверхности

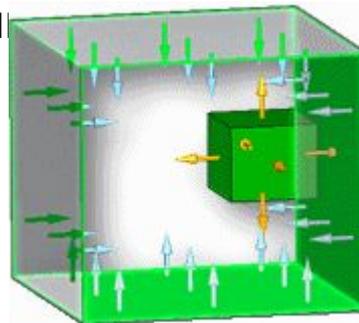
Когда установлен, задает, что поверхность может отбрасывать тень на другие поверхности. Это исключает получение тепловой энергии другими поверхностями (позволяет ускорить вычисление коэффициента излучения).



*Для зеленого объекта установлен параметр **Экранировать другие поверхности**.*

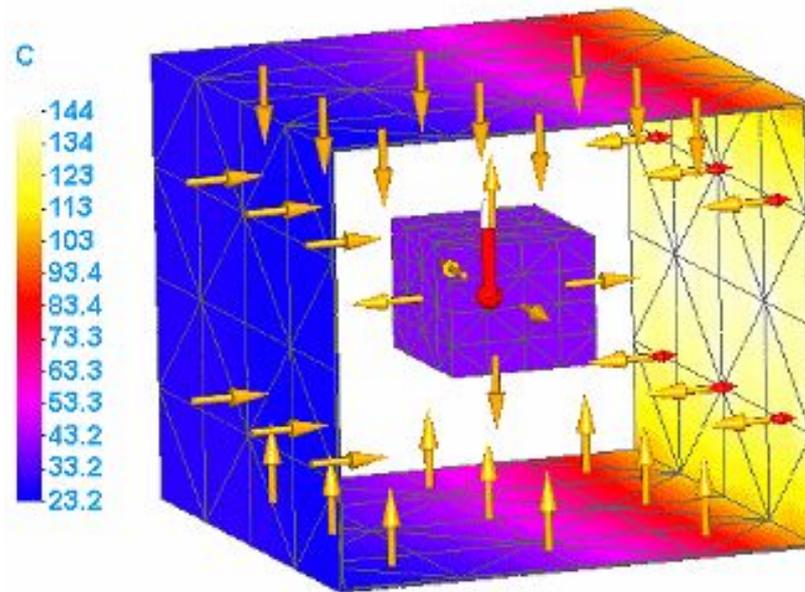
Экранироваться другими поверхностями

Когда установлен, задает, что поверхность может заслоняться другими поверхностями. Тепловая энергия не поглощается выбранной поверхностью (позволяет ускорить вычисление коэффициента излучения).



*Для четырех внутренних стенок установлен параметр **Экранироваться другими поверхностями**.*

Нагрузки излучения. Пример



К упрощенной модели печи применены следующие нагрузки. Боковины удалены, чтобы лучше видеть внутреннюю область.

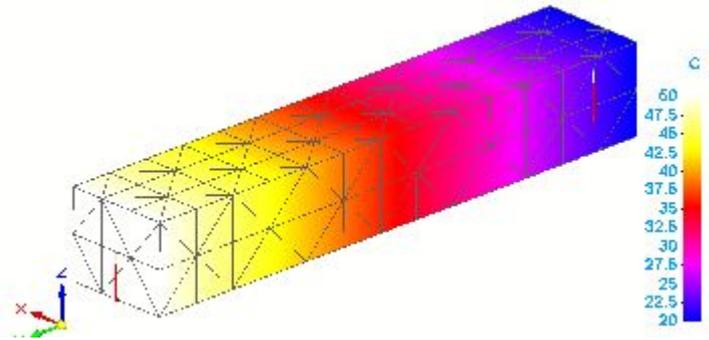
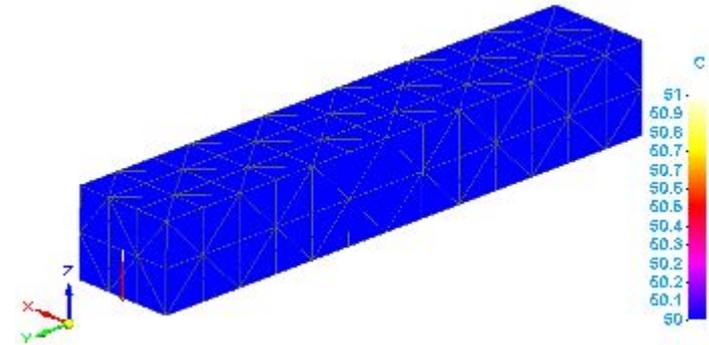
- Нагрузка **Температура тела** задает температуру по умолчанию.
- Нагрузка **Тепловой поток** задана для правой стенки печи, представляющей источник тепла.
- Нагрузка **Излучение в замкнутом объеме** задана для внутренних стенок, представляющих нагретые стенки печи.
- Вторая нагрузка **Излучение в замкнутом объеме** задана для объекта в середине печи, который представляет разогреваемый объект и испускает собственное тепло.

Тепловые нагрузки, используемые как ограничения

Команды в группе **Тепловые нагрузки** можно использовать как тепловые ограничения для теплового анализа. Тепловые ограничения задают постоянную температуру для геометрии или узлов. Нагрузки **Температура**, **Конвекция**, **Тепловой поток** и **Тепловыделение** можно использовать как тепловые ограничения для передачи тепла через модель и для рассеяния тепла.

Пример: В стационарном анализе теплообмена, когда тепловая нагрузка применяется к одному элементу (ребру, точке, поверхности, компоненту), результаты показывают проводимость тепла в детали до достижения теплового равновесия.

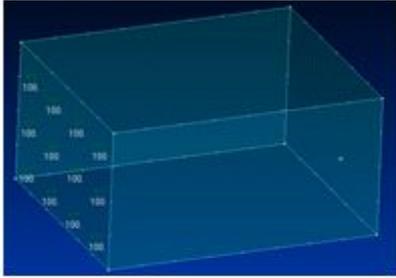
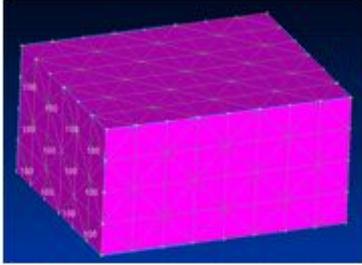
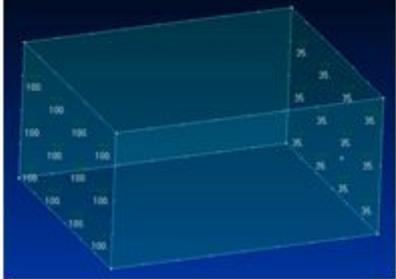
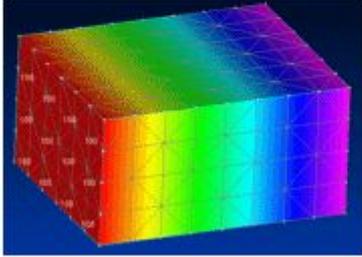
Чтобы показать разницу температур в детали, можно применить вторую нагрузку **Температура** как тепловое ограничение, задав другое значение температуры для противоположного элемента.



Определение механизма рассеяния тепла

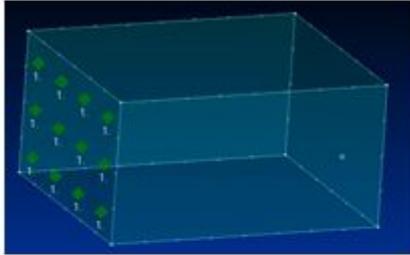
Для стационарного теплового анализа с источником тепла нужно определить механизм рассеяния тепла. Чтобы удовлетворить этому требованию, можно сделать следующее:

- ✓ Применить **температурную нагрузку** на противоположных концах анализируемой геометрии для задания перепада температур.
- ✓ Использовать **нагрузку конвекции** на одном конце для рассеяния тепла от тепловой нагрузки на другом конце.

| Примененные тепловые нагрузки | Результаты |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p data-bbox="40 532 558 596">Температурная нагрузка=100°C на левой грани.</p>  | <p data-bbox="591 532 1367 568">Все тело имеет температуру 100°C. Перепада температур нет.</p>  |
| <p data-bbox="40 918 558 982">Температурная нагрузка=100°C на левой грани.</p> <p data-bbox="40 1003 558 1068">Температурная нагрузка=35°C на правой грани.</p>  | <p data-bbox="591 918 1058 953">Распределение температуры по телу.</p>  |

Определение механизма рассеяния тепла

Тепловыделение=1Вт на левой грани.

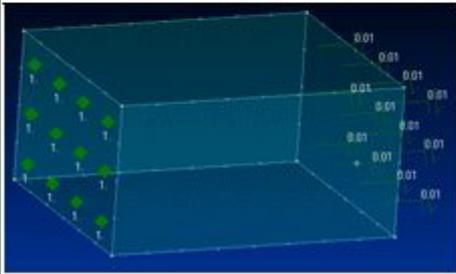


Температуры увеличиваются без ограничения, так как был определен источник тепла, но не была задана смещенная тепловая нагрузка на правой грани.

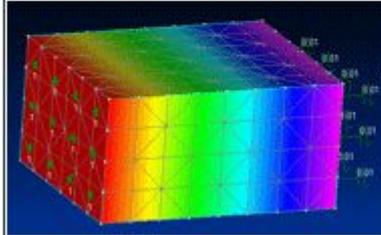
Решение не может быть найдено; отображается сообщение об ошибке.

Тепловыделение=1Вт на левой грани.

Нагрузка конвекции на правой грани.



Распределение температуры по телу.



Определение тепловых контактов

Для сборок и деталей с множеством тел нужно определить тепловые контакты с помощью следующих команд. Теплообмен через проводник можно задать с помощью контакта типа **Склейка**:

Команда

Автоматически

Команда **Вручную**



Стационарный тепловой анализ для модели сборки можно выполнить без определения контактов в сборке. В этом случае все нагрузки, кроме излучения, не передают тепло между телами. Результаты такого анализа будут отличаться от результатов анализа с учетом контактов.

Анализ излучения в замкнутом объеме для модели сборки не требует определения контактов в сборке.

Свойства материалов для теплового анализа

Таблица материалов

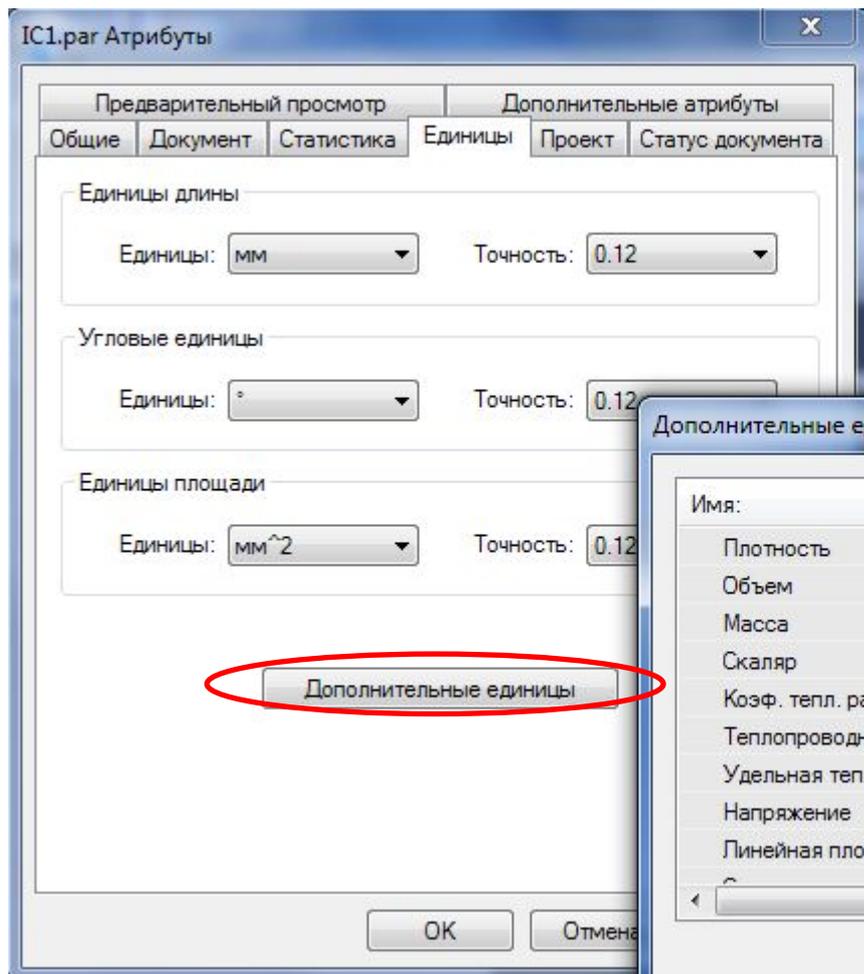
Материал:

Настройки:

| Свойство | Значение |
|--------------------------|----------------------------|
| Плотность | 8940,000 кг/м ³ |
| Кэф. тепл. расширения | 0,0000180 /С |
| Теплопроводность | 391,000 Вт/м-С |
| Удельная теплоемкость | 385,000 Дж/кг-С |
| Модуль упругости | 117210869,000 кПа |
| Число Пуассона | 0,310 |
| Предел текучести | 275790,280 кПа |
| Предел прочности | 310264,065 кПа |
| Относительное удлинен... | 0,000 |

Для теплового анализа нужно определить дополнительные свойства материала в таблице материалов. К ним относятся **теплопроводность, коэффициент теплового расширения и удельная теплоемкость.**

Свойства материалов для теплового анализа



Тепловая нагрузка и свойства материала используют единицы измерения, заданные на вкладке **Дополнительные единицы** в диалоговом окне **Атрибуты документа**.

Дополнительные единицы

| Имя: | Значение | Точность |
|-------------------------|-------------------|-----------|
| Плотность | кг/м ³ | 0.123 |
| Объем | мм ³ | 0.123 |
| Масса | кг | 0.123 |
| Скаляр | | 0.123 |
| Козф. тепл. расширен... | /С | 0.1234567 |
| Теплопроводность | Вт/м·С | 0.123 |
| Удельная теплоемко... | Дж/кг·С | 0.123 |
| Напряжение | кПа | 0.123 |
| Линейная плотность | кг/м | 0.123 |
| | | 0.123 |