МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»
Институт машиностроения
(наименование института полностью)
Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»
(наименование кафедры)
15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»
(код и наименование направления подготовки)
Технология автоматизированного машиностроения
(направленность (профиль)

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему Исследование влияния параметров конечно-элементной модели на структуру результатов расчета силовых узлов станка

Студент	Д.А. Королев	
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
Научный руководитель	Д.Ю. Воронов	
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
Консультанты	В.Г. Виткалов	
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)

Руководитель программы д.т.н., доцент Н.М. Бобровский_____
(личная подпись)

«_____»_____2017 г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой
к.т.н, доцент Н.Ю. Логинов _____
(личная подпись)

«_____»_____2017 г.

Тольятти 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3
Глава 1 Анализ основ и возможностей компьютерного проектирования 4
Глава 2 Анализ конструкции станка 17
Глава 3 Анализ возможности модернизация станка путем оптимизации процесса 3D проектирования силовых узлов 21
Глава 4 Исследование влияния качества 3D модели на структуру результатов расчета деформаций силовых узлов 43
Глава 5 Параметризация и моделирование напряженных состояний силовых узлов станка 56
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 76
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 77
ПРИЛОЖЕНИЯ 80

ВВЕДЕНИЕ

Использование трехмерного моделирования позволяет улучшить понимание геометрии модели и понять принцип работы изделия уже на стадии предварительной разработки. Имитация работы изделия на компьютере при помощи прикладных программ трехмерного проектирования и моделирования позволяет рассчитать и предвидеть поведение изделия. Позволяет определить с заданной точностью «недостатки и слабые места» и оптимизировать механизм, даже не имея физической его модели или опытного образца.

Поэтому в процессе работы над магистерской диссертацией решались следующие основные задачи:

- модернизация четырехкоординатного многоцелевого станка на основе параметрического моделирования нагруженных состояний его основных узлов;
- создание твердотельной модели шпиндельной бабки станка;
- выполнение исследования влияния типа и размера конечно-элементной сетки на точность расчета;
- выполнение расчетов поля распределения температур шпинделя, станины и шпиндельной коробки с использованием метода конечных элементов.

Глава 1 Анализ основ и возможностей компьютерного проектирования

Осуществление процедур автоматизированного проектирования подразумевает использование электронных моделей изделий.

Электронная модель изделия – это электронная геометрическая модель, которая описывает форму, размеры и иные свойства изделия, зависящие от его геометрии.

Электронные модели изделия могут быть созданы методами двумерного и трехмерного моделирования.

Двумерное моделирование позволяет создавать модель в виде проекции на плоскости. Примером двумерного изображения могут служить чертежи, схемы, планы, спецификации. Электронные модели изделия, созданные методами двумерного моделирования, называют также 2D-моделями [два дэ моделями]. Недостатком 2D-моделирования [два дэ моделирования] является сложность представления объекта в пространстве.

Решение этой проблемы возможно с помощью трехмерного моделирования, предназначенного для создания объемных объектов в пространстве. Электронные модели изделия, созданные методами трехмерного моделирования, называют также 3D-моделями [три дэ моделями]. Примером трехмерных моделей могут служить электронные модели деталей машин, сборок, механизмов, конструкций зданий.

Создание двумерных и трехмерных электронных моделей позволяет многократно использовать спроектированные объекты для формирования электронной библиотеки семейства аналогичных моделей.

Трёхмерное изображение существует лишь в воображении, так как картинка, которую мы видим на мониторе, – это проекция трёхмерной фигуры.

Гибридное моделирование – это способ формирования модели с помощью компонентов, которые либо определены набором параметров –

размеров, либо сформированы с помощью моделей, которые в явном виде не определяются числовыми параметрами.

Для формирования модели первым способом пользователь вводит значения необходимых параметров объекта, а также его координаты для позиционирования в пространстве. Примером таких моделей могут служить параллелепипед, цилиндр, конус, сфера и так далее. Созданная таким образом модель редактируется за счет изменения значений ее параметров.

Например, пользователь в программе 3D-моделирования вызывает опцию для создания конуса. Указывает координаты точки центра основания конуса. Эти величины позволят позиционировать геометрию конуса в пространстве. Затем пользователем вводятся значения радиусов верхнего и нижнего оснований конуса, а также высота модели. Таким образом, геометрия усеченного конуса создана.

Для изменения построенного объекта пользователем активируется опция редактирования конуса, затем изменяются значения параметров модели. Трехмерная геометрия конуса автоматически перестраивается.

Построение модели вторым способом осуществляется за счет использования дополнительной геометрии. Например, массива точек, отрезков, дуг, окружностей и кривых и так далее. Пользователь указывает базовые элементы, на основании которых формируется модель.

Например, пользователь в программе 3D-моделирования создает в пространстве по координатам точек начала и конца два отрезка. Затем вызывается опция, предназначенная для построения плоскости. Пользователь выбирает способ создания плоскости, при котором она будет проходить через две прямые. В графическом окне указываются два ранее построенных отрезка. Программа автоматически создаст плоскость, проходящую через два отрезка.

Изменение построенной плоскости начинается с активации опции редактирования отрезков. Пользователь изменяет значения координат начальной и конечной точек отрезков. Редактирование отрезков приводит к автоматической перестройке плоскости.

Таким образом, второй способ гибридного моделирования позволяет изменять геометрию модели за счет редактирования ее базовых элементов.

С помощью гибридного моделирования можно создавать модель как первым, так и вторым способом с возможностью их чередования.

Редактирование электронной модели изделия в достаточно широком диапазоне возможно с использованием инструментов параметризации. Параметрическое моделирование – это моделирование на основании параметров модели и взаимосвязей между ними. Использование технологии параметрического конструирования сказывается на традиционном процессе двухмерного черчения или трехмерного моделирования. Инженер-конструктор при создании параметрической конструкции создает ее математическую модель. Изменение параметров такой модели приводит к пересчету конфигурации и размеров детали, взаимным перемещениям деталей в сборке и так далее.

Технология параметрического конструирования зародилась на ранних этапах развития системы автоматизированного проектирования, далее по тексту – САПР, но долгое время не могла быть использована ввиду недостаточной производительности компьютерной техники.

Использование технологии параметрического конструирования позволяет при необходимости легко изменять форму и размеры модели, в результате чего пользователь может быстро и эффективно получать альтернативные конструкции модели. Параметризация позволяет избежать принципиальных ошибок проектирования.

Однако допускается только такое редактирование моделей, при котором не будут нарушены установленные зависимости, равенства или неравенства.

Параметризованный объект содержит в себе информацию о позиционировании и характеристиках геометрических объектов, а также о взаимосвязях между объектами и наложенных на них ограничениях.

Взаимосвязь между объектами выражается в виде алгебраических, размерных и геометрических соотношений между параметрами нескольких

объектов. В случае редактирования одного из взаимосвязанных параметров автоматически изменяются зависимые величины.

Зависимость между параметрами модели может быть более сложной. Например, выраженной в виде функций, определяющих отношения между параметрами объекта.

Меняя значения в таблице параметров, пользователь получает возможность генерировать новую модель без непосредственного редактирования геометрии.

Например, пользователь вносит все необходимые параметры модели в таблицу выражений. При этом указываются взаимосвязи между параметрами, выраженные в виде функций. Например, параметр А будет равен произведению параметра Б на квадратный корень из параметра М. Далее создаётся 3D-модель. В полях ввода величин элементов построения вносятся не конкретные размеры, а параметры из таблицы выражений. Например, создается блок длиной А, высотой Б и шириной М.

Для редактирования параметризованной модели блока пользователь обращается к таблице выражений. Выполняется редактирование значений параметров. Данные сохраняются. Программа автоматически перестроит модель в соответствии с новыми значениями.

Процедура параметризации оптимально подходит для формирования электронной библиотеки стандартизованных деталей. В этом случае пользователь вносит в таблицу выражений параметры модели для каждого типоразмера. Далее прописывается условие, определяющее выбор того или иного типоразмера детали.

Процесс параметризации моделей сопровождается использованием технологии ассоциативного конструирования, которая базируется на непосредственных взаимосвязях между объектами. Ассоциативное конструирование дает возможность без прохождения всего пути формирования итогового объекта получать измененную модель путем редактирования его родительских объектов.

Примером использования технологии ассоциативного конструирования служит процесс определения параллельности или перпендикулярности двух и более отрезков. Если повернуть один из взаимосвязанных таким образом отрезков, например изменить угол его наклона, то повернется и другой отрезок.

Существуют два типа параметризации трехмерной модели: вариационная и иерархическая.

Вариационная параметризация может быть представлена в различных проявлениях. Например, вариационная параметризация позволяет формировать взаимосвязи между параметрами модели в границах файла.

Зачастую при формировании параметризованной модели используется параметризация геометрических объектов в эскизе.

Эскиз – это плоская фигура, на основе которой формируется объемное тело. Эскиз, участвующий в образовании трехмерной модели, может быть параметрическим, если на его графические объекты будут наложены различные типы параметрических связей и ограничений.

Эскиз может располагаться в одной из ортогональных плоскостей координат, на плоской грани существующего тела или на вспомогательной плоскости, положение которой задано пользователем.

Эскиз изображается в плоскости стандартными средствами чертежно-графического редактора. Как правило, эскиз представляет собой сечение объемного элемента.

Эскиз можно сделать непараметрическим, разрушив все связи и ограничения или не формируя их.

Вариационная параметризация позволяет легко изменять форму эскиза или величину параметров операций, что позволяет удобно модифицировать трёхмерную модель.

Процедура формирования параметризованной геометрии с использованием вариационных связей начинается с создания эскиза для трехмерной операции. Геометрия эскиза «образмеривается» параметрами, то есть реальные размеры профиля эскиза заменяются параметрами.

Прописываются взаимозависимости между параметрическими величинами в виде математических формул. Устанавливаются геометрические ограничения. Например, параллельности, перпендикулярности, соосности, равной длины и угла, симметрии и так далее. Затем осуществляется процедура для получения пространственной модели на основании геометрии эскиза. Величи ны, предназначенные для получения трехмерной операции, также могут быть заданы в виде параметров.

Вариационная параметризация также может быть задействована при указании параметров сопряжения компонентов в сборке. Такая параметризация дает возможность для генерации сборки с иным положением деталей.

Условия сопряжения позволяют позиционировать компоненты сборки. Условие сопряжения задаётся набором ограничений. Например, можно установить требование, чтобы ось цилиндрической грани одного компонента совпадала с осью конической грани другого компонента.

Система считает один из компонентов фиксированным и находит такую позицию ведомого компонента, которая бы удовлетворяла наложенным ограничениям.

Если перемещается фиксированный компонент, то ведомый компонент переместится вместе с ним. Например, если «привязать» болт к отверстию, то при перемещении отверстия болт тоже будет перемещаться.

Иерархическая параметризация – это параметризация, при которой взаимосвязь между геометрическими объектами определяется порядком их создания и подчинения друг другу. Иерархическая параметризация характерна для объектов, созданных на основании других. Например, для создания фаски модели необходимо указать ребро граней, на котором она будет сформирована.

Изменение родительского объекта при использовании иерархической параметризации приводит к автоматическому обновлению геометрии на всех последующих уровнях в дереве построений.

Модель может быть создана как с использованием вариационной и иерархической параметризации, так и с применением одного из этих видов.

Режимы параметрического конструирования представлены двумя видами: с полным набором связей и с неполным набором связей.

Параметрическое конструирование с полным набором связей – это режим параметрического конструирования, при котором пользователь полностью указывает все необходимые связи между параметрами, геометрией и компонентами в сборке. Такой режим параметрического конструирования позволяет однозначно определить форму геометрической модели изделия. В этом случае изменение какого-либо параметра приведет к автоматическому изменению геометрии модели и не потребует от пользователя выполнения каких-либо действий по модификации объекта.

Например, в 3D-программе построена геометрия в виде параметризованного блока. Длина, ширина и высота блока представлены в виде параметров, для которых прописаны взаимосвязи. Ширина блока составляет половину длины модели, а его высота равна одной четверной от высоты модели. В теле блока выполнено отверстие. Центр отверстия установлен на расстоянии, равном половине длины и половине ширины блока, вдоль соответствующих сторон. Диаметр отверстия равен четверти ширины блока. Глубина отверстия соответствует высоте блока. Такая параметризованная модель описана с полным набором связей. При изменении длины блока геометрия детали автоматически перестроится с учетом заданных соотношений.

Для режима параметризации с полным набором связей характерно возникновение ситуаций, при которых изменение параметров модели не представляется возможным. В таких случаях решение программой не может быть найдено, так как часть параметров и установленные взаимосвязи вступают в противоречие друг с другом.

Например, в 3D-программе построена база в виде блока, параметры которого взаимосвязаны. На верхней грани блока выполнен сквозной паз. Расстояние от края паза до ребра блока определится величиной, равной четверти размера блока в направлении, перпендикулярном оси паза. Глубина

паза равна половине высоты базы. Ширина паза является постоянной величиной, не зависящей от размеров блока. Таким образом, при редактировании геометрии детали в случае уменьшения габаритов блока произойдет конфликт параметров. В определенный момент программа не сможет расположить паз на блоке, так как площадь верхней грани станет недостаточной.

Таким образом, параметризация с полным набором связей позволяет управлять формой конструкции в пределах, которые определены исключением конфликтности между параметрами.

Параметрическое конструирование с неполным набором связей – это режим параметрического конструирования, при котором пользователь выборочно указывает необходимые связи между параметрами, геометрией и компонентами в сборке. Такой режим параметрического конструирования позволяет пользователю работать, не задумываясь о порядке формирования связей, а также об их достаточности для полного описания геометрии конструкции.

Например, в 3D-программе выполнена сборка, состоящая из двух компонентов, таких как плита и колонка. В плите выполнено отверстие, в которое запрессована колонка. Пользователь определил связь между осевыми линиями отверстия и колонки в виде соосности их сопряжения. Других соотношений установлено не было. Таким образом, при изменении положения отверстия колонка переместится за ним. Однако диаметр отверстия, глубина запрессовки колонки в плиту, а также диаметр колонки будут задаваться пользователем в процессе дальнейшего редактирования. Пользователь выполнил редактирование положения отверстия, что явилось основой для дальнейших изменений модели, не имеющих параметрических взаимосвязей.

Таким образом, параметризация с неполным набором связей предоставляет пользователю возможность для выявления неизвестных факторов в виде связей, а также для нахождения необходимого варианта конструкторского решения.

Совместная работа над крупным проектом обозначает границы ответственности между членами коллектива разработчиков. За каждый этап процесса разработки отвечает отдельный специалист.

Например, инженер-конструктор разрабатывает модель изделия и имеет право на ее изменение. В такой ситуации инженер-технолог, расчетчик-прочнист и другие специалисты имеют право только на чтение данной модели и не имеют полномочий для внесения изменений в геометрию изделия. Такой подход в организации работы исключает возможность несанкционированного редактирования модели детали или сборки.

Для организации работы в границах ответственности разработчиков используется принцип мастер-модели. В соответствии с этим принципом модель детали или сборки создается один раз, то есть впоследствии во всех приложениях используется именно эта модель, а не ее копии. Такая модель называется мастер-моделью.

Каждый из разработчиков, используя мастер-модель через ссылку на файл геометрии, выполняет свою часть работы в отдельном файле, не имея возможности вносить коррективы непосредственно в саму модель детали или сборки.

Редактирование мастер-модели приводит к автоматическому пересчету результатов во всех дочерних файлах, так как все связанные с мастер-моделью файлы ассоциативно зависимы от нее.

Компьютерная графика – это область деятельности, предназначенная для создания и обработки визуальной информации. Компьютерной графикой также называют результат такой деятельности.

Продуктом компьютерной графики является изображение. Такое изображение может использоваться в различных областях деятельности, например в качестве кадра из мультфильма, в виде чертежа, диаграммы, схемы, рекламного проспекта и так далее.

Под компьютерной графикой обычно понимается процесс автоматизации работ, связанных с разработкой, редактированием, хранением и воспроизведением визуальных данных.

Изображения моделей объектов являются графической информацией.

Область применения технологий компьютерной графики обширна. Это графический интерфейс программ, спецэффекты, видеоконференции, цифровая фотография и цифровая живопись, визуализация научных и деловых данных. А также компьютерные игры, системы виртуальной реальности, системы автоматизированного проектирования и так далее.

Выделяют следующие типы компьютерной графики:

- научная,
- деловая,
- конструкторская,
- иллюстративная,
- художественная и рекламная,
- компьютерная анимация,
- графика для интернета и так далее.

Компьютерная графика по способам формирования изображения представлена двумя основными видами – векторной и растровой графикой.

Выделяют также фрактальный тип представления изображений. Фрактальная графика позволяет создавать изображения, элементы которого наследуют свойства родительских объектов.

Формирование фрактального изображения базируется на построении похожих между собой элементов. Создание дочерних элементов происходит по простому алгоритму, который описывается несколькими математическими формулами.

Фрактальные изображения экономны в плане дискового пространства, так как в памяти компьютера хранится только математическая функция. Фрактальная графика является вычисляемой. Процесс создания фрактального изображения состоит в программировании, а не в рисовании.

Векторную графику часто называют чертежной графикой. Такие геометрические объекты, как окружности, точки, линии, дуги и тому подобные элементы, называют геометрическими примитивами.

Векторное изображение состоит из описания границ геометрических объектов и их заполнения с помощью заливки. Векторный способ позволяет формировать изображение с помощью комбинации простых геометрических фигур, таких как точки, отрезки, прямые, кривые, окружности, прямоугольники и так далее. Векторное изображение создается за счет параметров, описывающих цвета и расположение геометрических примитивов.

Таким образом, для полного описания векторного изображения задаются вид и базовые координаты каждой фигуры. Например, координаты двух концов отрезка, координаты центра и радиус окружности. Такой способ представления визуальной информации подходит для изображений, которые легко представить в виде комбинации геометрических фигур, например, для технической документации.

К положительным сторонам применения векторной графики можно отнести возможность математического описания формы, цвета и пространственного положения составляющих изображение объектов, что создает потенциал для редактирования. Векторное изображение можно без потерь масштабировать, вращать, копировать, перемещать и так далее. При этом редактирование осуществляется за счет использования коэффициентов в соответствующих математических формулах. Благодаря такой возможности рисунок фактически заново перерисовывается.

Векторное изображение является экономичным в плане размеров дискового пространства, необходимого для хранения изображений. Это определяется тем, что сохраняется не само изображение, а только некоторые основные данные. Например, координаты базовых и управляющих точек.

Использование векторной графики нецелесообразно при создании изображений с большим количеством оттенков или мелких деталей. Каждый мельчайший участок будет описываться математической формулой или

совокупностью графических примитивов, каждый из которых также представляется формулой. Такой способ кодирования изображений приводит к ограничению живописности рисунка и увеличению размера его файла.

При работе с векторным изображением существует программная зависимость, так как нет единого формата файлов, который бы позволял открывать любой векторный рисунок в любом доступном векторном редакторе. Программы векторной графики работают по различным алгоритмам при построении одних и тех же геометрических объектов.

Векторные изображения применяются в области технического

рисования, чертёжно-графических и оформительских проектов, в области дизайна, для схем, масштабируемых шрифтов, деловой графики и так далее.

Растровое изображение представляет собой прямоугольную матрицу, каждая ячейка которой представлена цветной точкой – пикселем.

Пиксель – это элементарная цветная точка растрового изображения.

При формировании растрового изображения математические формулы не задействуются, что отличает его от векторной графики.

Растровая графика более полно передает освещенность, прозрачность, глубину и резкость изображения. Растровый способ кодирования информации подходит для визуализации живописных изображений с передачей всей гаммы оттенков. Для растровых изображений характерна фотореалистичность.

В большинстве случаев растровые изображения получают за счет сканирования изображений, а также с помощью кадров цифрового фотоаппарата или видеокамеры.

Растровые изображения можно получить на основе векторных данных путем преобразования последних. Растровое изображение можно легко загрузить на компьютер с использованием устройств ввода, таких как фотокамеры, видеокамеры, сканеры, графические планшеты и так далее.

Форматы файлов с растровой графикой являются универсальными и в большинстве случаев не требуют использования специализированного программного обеспечения.

Растровое изображение не является экономичным в плане размеров дискового пространства, необходимого для хранения изображений. Это определяется тем, что в файле сохраняются данные о каждом пикселе и его цвете. Размер файла становится значительным, особенно при сохранении цветного изображения.

К отрицательным сторонам применения растровой графики можно отнести появление трудностей при масштабировании, вращении, вытягивании

изображения. При этих трансформациях рисунок становится менее четким и выразительным. Становится заметен ступенчатый эффект изображения.

Ввиду того что экран монитора – это матрица, состоящая из столбцов и строк, любое изображение, полученное на мониторе, является растровым. Визуализация графики может быть растровая, векторная или иная, однако способ визуализации может быть только в виде растра. Исключением являются векторные дисплеи.

Глава 2 Анализ конструкции станка

На станке «Horizon» может производиться получистовое и чистовое фрезерование деталей концевыми, торцевыми и дисковыми фрезами, а также растачивание, сверление, зенкерование, развертывание и нарезание резьбы метчиком.

Станок может обрабатывать детали из чугуна, стали, цветных сплавов и пластмассы.

Станок может управляться вручную органами управления, расположенными на пульте управления, минуя систему ЧПУ.

На станке программируются координатные перемещения подвижной стойки (Ось X), головки, несущей шпиндель (шпиндельной бабки) (Ось У), пиноли со шпинделем (Ось Z), поворотного стола (Ось В), скорости этих перемещений, числа оборотов шпинделя, смена инструмента, коррекция инструмента, циклы обработки.

Наличие на станке ЧПУ дает возможность реализовывать программы обработки деталей с практически неограниченным количеством различных операций. Переход на новую номенклатуру деталей производится сменой управляющих программ, расположенных в памяти или считываются из устройств ввода.

Станок предназначен для штучного, а также мелкосерийного производства. Кроме того, станок может быть включен в производственные потоки интегрированных участков и гибкие производственные модули.

Стойка станка реализована посредством двух вертикальных параллельных колонн, установленных на основании и анкерованных сверху горизонтальной перекладиной и закрытых по обоим бокам двумя структурами из ребристой стали.

Основание подвижной стойки (ось X) движется по двум цилиндрическим направляющим, закрепленным на станине. Станина с повышенной жесткостью, реализована из сварной листовой стали.

В стойке расположена шпиндельная бабка.

В нижней части колонны, в основании, между цилиндрическими направляющими находится передача винт, вдоль которого движется вся колонна. Гайка, приводящая в движение колонну, крепится с правой стороны основания. Внизу, под основанием расположен линейный измерительный преобразователь индукционного типа.

Шпиндельная бабка представляет собой жесткую отливку коробчатой формы со сквозным отверстием для размещения пиноли со шпинделем.

В верхней части колонны расположен электродвигатель, приводящий в движение по средствам передачи винт-гайка качения головку со шпинделем (Ось У).

Головка движется вертикально по двум параллельным колоннам, которые являются направляющими. В нижней части головки расположен гидроцилиндр, осуществляющий фиксацию пиноли. Справа, на головке со шпинделем расположен линейный измерительный преобразователь индукционного типа. В верхней части к головке крепится передача винт-гайка качения, при помощи которой двигается пиноль.

Пиноль представляет собой гладкий цилиндр, который соединен с гайкой передачи, приводящий его в движение. Перемещение происходит внутри головки по направляющим трения (Ось Z).

Внутри пиноли размещен шпиндель, расположенный на трех опорах. Передняя опора состоит из двух, рядом расположенных шариковых радиально-упорных подшипников со скосом, расположенных скосом в сторону конуса. Средняя опора состоит из одного шарикового радиально-упорного подшипника со скосом, расположенного скосом в противоположную сторону. Задняя опора - шариковый радиальный подшипник с жестко закрепленным нижним концом на шпинделе. Регулировка радиального и осевого натяга производится при помощи гайки и кольца.

Вращение на шпиндель передается через подвижное шлицевое соединение. Шпиндель свободно задним шлицевым концом перемещается

внутри вала с закрепленным шкивом. Этот шкив соединен с двигателем при помощи двух клиноременных передач. Промежуточный шкив имеет некоторую эксцентричность, что бы обеспечить передачу вращения от жестко закрепленного двигателя к перемещающемуся в двух координатах (Х и У) шпинделю.

Зажим инструмента в шпинделе осуществляется с помощью набора тарельчатых пружин, затягивающих инструмент в корпус шпинделя через шток. Захват хвостовика инструмента при этом осуществляется шариками при движении штока под действием пружин. Регулирование пакета тарельчатых пружин, определяющих усилие зажима инструмента в шпинделе, производится гайкой.

Освобождение инструмента при его замене происходит в верхнем левом положении головки, когда шток перемещается вперед под воздействием гидроцилиндра. При этом шарики освобождают хвостовик инструмента, а шток выталкивает его из корпуса шпинделя.

Крутящий момент инструменту передается шпонками на торце шпинделя, входящими в пазы фланца инструмента.

В приводах подачи используются шарико-винтовые передачи. Гайка для продольного перемещения стойки по направляющим закреплена справа на основании стойки, а опора винта слева в станине. Гайка винта вертикального перемещения головки со шпинделем, которая движется внутри стойки, закреплена сверху и справа головки, а опора винта закреплена в верхней части стойки. Гайка для продольного перемещения пиноли закреплена в задней части пиноли, а опора винта закреплена в задней части головки. Ходовые винты соединены с электродвигателями при помощи муфт.

Измерение поперечного и продольного перемещения осуществляют линейные измерительные преобразователи.

В корпусе поворотного стола размещена червячная передача привода вращения поворотного стола (Ось В), датчик отсчета углов поворота стола и механизм зажима поворотного стола. Движение на червячную передачу

приходит от двигателя и зубчатого зацепления, встроенных неподвижно в станину. Зажим служит для жесткой фиксации стола от проворота и осуществляется от набора тарельчатых пружин. Разжим и отжатие механизмов с деталью для замены осуществляет гидроцилиндр.

Все механизмы, размещенные в столе, а также направляющие защищены кожухами и щитками.

Целью диссертационной работы было изучение программ и пакетов трехмерного твердотельного моделирования и возможность использования таких моделей в исследовательских целях.

Глава 3 Анализ возможности модернизация станка путем оптимизации процесса 3D проектирования силовых узлов

3.1 Параметрическое твердотельное моделирование

3.1.1 Цели и задачи создания твердотельных моделей

Использование трехмерного моделирования позволяет улучшить понимание геометрии модели и понять принцип работы изделия уже на стадии предварительной разработки. Имитация работы изделия на компьютере при помощи прикладных программ трехмерного проектирования и моделирования позволяет рассчитать и предвидеть поведение изделия. Позволяет определить с заданной точностью «недостатки и слабые места» и оптимизировать механизм, не имея физической его модели или опытного образца. Возможно при наличии, всего лишь, готовой модели детали создать всю технологию ее изготовления. При этом не требуется создавать документацию на бумажных носителях, а сразу, используя соответствующие протоколы обмена данными между оборудованием, создавать готовые изделия. Кроме того, становиться возможным исследовать еще, по сути, не существующее изделие на ряд свойств и качеств, имеющих разную физическую природу. Имеется возможность ставить эксперименты по поведению модели в требуемых условиях и оптимизировать имеющуюся конструкцию.

Именно сейчас ставится задачей не только иметь готовую модель изделия для последующего запуска ее в производство, а попытаться рассчитать ее параметры с влиянием большого числа переменных для оптимизации свойств. Данная глава ставит себе цель создания такой модели шпиндельной бабки созданного уже станка и с помощью имитации силового, теплового и вибрационного воздействий оценить параметры узла и найти пути по его улучшению и модернизации.

3.1.2 Этапы разработки изделий. Жизненный цикл изделий. Автоматизация этапов

Для обеспечения согласованной работы всех предприятий участвующих в проектировании, производстве, реализации и эксплуатации сложных технических изделий используется соответствующая информационная поддержка этапов жизненного цикла промышленных изделий, такая поддержка называется CALS (Computer Aided Logistics Support). Отечественный вариант: КСПИ - компьютерное сопровождение и поддержка изделий.

Назначение: Обеспечивать необходимой информацией любого участника промышленного процесса о жизни изделия.

Совокупность предприятий в электронном бизнесе называется виртуальное предприятие.

Основные функции CALS.

Структурирование и моделирование данных об изделиях и процессах.

Обеспечение эффективного управления и обмена данными между всеми участниками жизненного цикла промышленного изделия.

Создание и сопровождение документации необходимой для поддержки всех этапов жизненного цикла.

CALS интегрирует (объединяет) промышленные системы в единую группу.

Положительные стороны:

Улучшение качества изделий за счет более полного учета имеющейся информации при проектировании и принятии управленческих решений. Так обоснованность решений, которые принимаются, будет больше, если АСУ связано с САПР.

Сокращение материальных и временных затрат на проектирование и создание изделий за счет использования общедоступных баз данных.

Сокращение затрат на эксплуатацию, решение вопросов ремонтопригодности.

CALS технология - это технология комплексной компьютеризации сфер промышленного производства, где комплексность обеспечивается унификацией и стандартизацией промышленных изделий на всех этапах их жизненного цикла. Основные спецификации представлены проектной, технологической, производственной, маркетинговой, эксплуатационной документации и утилизации.

Проблематика CALS технологий имеет ряд аспектов. По аналогии с Автоматизированным проектированием эти аспекты принято называть видами обеспечения CALS технологии. Принято выделять лингвистическое, информационное, программное, математическое, методическое, техническое, организационное обеспечение.

Лингвистическое обеспечение CALS.

Языки и форматы данных о промышленных изделиях и процессах, использующихся для предоставления и обмена информацией на этапы жизненного цикла изделий.

Информационное обеспечение CALS.

Составляют базы данных, в которых имеются сведения о промышленных изделиях, использующихся в различных системах в процессе проектирования. В состав входят стандарты.

Программное обеспечение CALS.

Представляются программными комплексами, представленными для поддержки единого информационного пространства.

Математическое обеспечение. Включает методы и алгоритмы создания и использования моделей о взаимодействии различных систем в CALS технологии. Среди таких методов можно выделить метод информационного моделирования.

Методическое моделирование CALS.

Представлено методиками выполнения таких процессов, как, например, совмещенное проектирование и производство. Структурирование сложных объектов. Создание антологий (метоописание объекта) приложений.

Техническое моделирование CALS.

Аппаратные средства визуализации данных.

Этапы жизненного цикла промышленных изделий и системы их автоматизации представлены на рисунке 3.1.

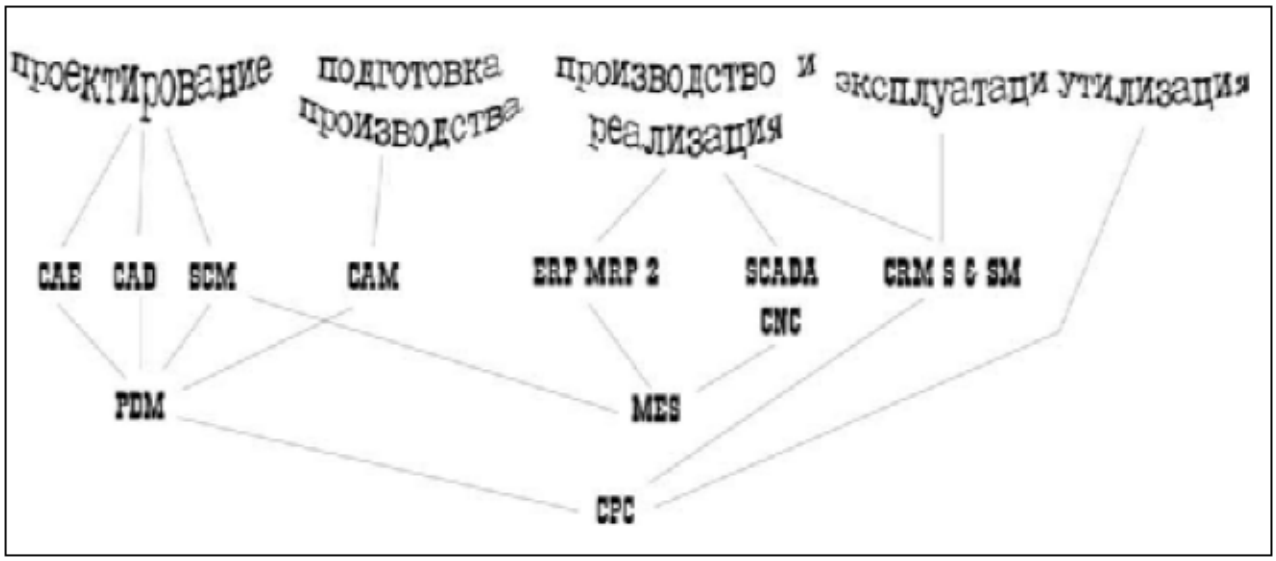


Рисунок 3.1 - Этапы жизненного цикла промышленных изделий и системы их автоматизации

CAE - Computer Aided Engineering (Конструирование)

CAD - Computer Aided Design (Проектирование)

CAM - Computer Aided Manufacturing (Подготовка производства)

PDM - Product Data Management (Управление проектными данными)

ERP - Enterprise Resource Planning (Планирование и управление предприятием)

MRP 2 - Manufacturing Requirement Planning (Планирование производства)

MES - Manufacturing Execution System (Производственная Исполнительная Система)

SCM - Supply Chain Management (Управление Поставками)

CRM - Customer Relationship Management (Управление взаимоотношениями с заказчиками)

SCADA - Supervisory Control And Data (Контроль над управлением и данными)

CPS - Collaborative Product Commerce (Взаимная торговля)

CNC - Computer Numerical Control (Числовое управление)

S&SM - Sales & Service Management (Управление продажами и обслуживанием).

CAD системы обеспечивают сквозное проектирование сложных изделий и имеет многомодульную структуру. Модули различаются своей ориентацией на те или иные проектные задачи, применительно к ним или иным подобным устройствам. При этом существуют проблемы, связанные с построением общих баз данных, с выбором протоколов, форматов и интерфейсов подсистем. Для решения этих проблем разрабатываются системы управления проектными данными PDM. PDM либо входит в состав конкретной САПР, либо имеют самостоятельные значения и могут работать с различными САПР. Уже на этапе проектирования требуются услуги системы CSM. Это система управления поставками комплектующих на этапе производства.

CAM (АСТПП) - синтез технологических процессов и программ для оборудования с ЧПУ. Выполняет функции выбора технологического оборудования. Модули системы CAM обычно входят в состав разных САПР и поэтому интегрированный САПР часто называют системой CAD/CAM (присутствует система PAD, CAD, CAE). Функции управления на промышленных предприятиях выполняются автоматизированными системами управления АСУП на нескольких иерархических уровнях. Автоматизация управления на самом верхнем уровне (цеха корпорации) осуществляется с помощью АСУП. Наиболее разбито система ERP, выполняющая деловые различные функции. Связь с планированием, закупками, сбытом, анализом перспектив маркетинга, управление финансами, персоналом, складским хозяйством. Система MRP-2 ориентирована на те же бизнес функции, но в условиях производства. АСУТП - контролирование и использование данных, характеризующее состояние технологического оборудования, протекание

технологического процесса. Эти системы называются системами промышленной автоматизации. Сбор и обработку информации (диспетчерские функции) берет на себя система SCADA CNC. CNC - специализированный контроллер. На этапе реализации продукции выполняются функции отношения с заказчиками. Анализ рыночной ситуации, спрос на изделия – CRN.

Маркетинговые функции иногда возлагаются на систему S&SM. Данная система ближе к системам ERP, PDM, SCM, и отличается от них оперативностью. Перечисленные системы могут работать как автономно, так и в комплексе.

Единое информационное пространство обеспечивается благодаря:

Унификация формы достигается использованием стандартных форматов, стандартных языков представления информации в межпрограммных режимах обмена.

Унификация содержания понимается как однозначная интерпретация данных о конкретном изделии. Унификация содержания будет обеспечиваться разработкой антологий - метоописание закрепляемых в различных приложениях CALS технологий.

За счет унификации перечней и наименований атрибутов в определенных предметных областях.

3.1.3 Автоматизация конструирования в машиностроении

Все программное обеспечение классифицируется по функциональным признакам. Существует 3 уровня: нижний, средний, верхний.

(I) Нижний уровень 2D: Создание чертежей.

Базис конструктор 4.5, Графика 81 (Институт проблем управления), Sprout CAD, чертежно-графический редактор АРМ Graf (НИЦ АПМ), CAD MECH LT (InterMech) T-FLEX CAD LT (TopSystem), Компас - График (АО АСКОН), ADEM.

(II) Средний уровень 3D:

Создание сравнительно несложных изделий методом твердотельного моделирования AutoCAD 2000…2002 (Autodesk), SolidWORKS (SolidWORKS), SotidEdge (Unigraphics Solution Inc), Power SHAPE, Prelude Design (French), Micro Station (Bently System), Гемма 3D, T-Flex CAD 3D, BCAD, Credo, Ocean CAD.

(III) Верхний уровень: Сквозное проектирование и производство.

CATIA 5, Euclid3, UNIGRAPHICS, Pro/Engineering, CADDS 5.

С точки зрения CALS все пакеты должны обеспечивать: функциональную полноту, специфику специальных задач. Вместо одного пакета необходимо использовать строго специализированные, специальные.

(IV) Объемное моделирование использует 3 метода.

Трехмерное твердотельное моделирование ТТМ. Метод поверхностного моделирования. Сочетание вышеперечисленных методов в адаптивной форме.

Твердое тело - заполненное материалом замкнутая область пространства. Твердое тело всегда характеризуется многогранным представлением и историей своего создания. Многогранное представление тела отображается в виде прозрачного или непрозрачного объемов. Границы, которых состоят из совокупности линий, ребер и поверхностей граней. Геометрические модели твердых тел (ТТ) математически точны и отображаются с заданной точностью и зависят от размера рабочей зоны. Все твердые тела делятся на базовые и составные.

Выбор метода построения ТТ важен. Определяет способ модификации, способ проектирования технологического оборудования. Модель может характеризоваться: компактностью, временем и трудоемкостью построения, технологичностью.

Твердотельные модели (ТТМ) наиболее часто используют в следующих случаях:

При проектировании типовых деталей и узлов в машиностроении.

Для унификации различных моделей с последующим использованием.

Истории создания ТТМ.

Для оценки свойств проектируемой детали.

Для контроля взаимного положения деталей и работы механизмов.

Для автоматизации подготовки конструкторской документации.

Для последующей обработки 2,5D.

(V) Параметризация

В ТТ моделировании существуют два режима создания модели.

Адаптивный (Свободный) - без назначения ограничений. Возможно быстрое изменение модели (Модификация).

Принудительный. Описание модели арифметическими выражениями совокупности геометрических элементов конструкции.

(VI) Поверхностное моделирование ПМ.

ПМ с различной степенью полноты реализовано только в программных средствах высшего уровня. ТТ Моделирование предназначено для создания объектов сложной формы, таких как поверхности.

ПМ позволяет достоверно представить изделие сколь угодно сложной формы. Можно рассчитать инерционно-массовые характеристики проектируемого изделия. Проконтролировать взаимное расположение деталей и степень их собираемости. Готовить управляющие программы для многокоординатной обработки. Деталь, построенная методами поверхностного моделирования, представляет собой поверхность в виде пустотелой оболочки, состоящей из большого количества элементарных участков (Патчей). Поверхность является одним из типов геометрических моделей. Наряду с телами и адаптивными формами геометрически смоделированная поверхность имеет единое представление в структуре данных. Не создается при моделировании истории ее создания. Точность отображения поверхности определяет коэффициент полигонизации.

(VII) Адаптивные формы.

Объемное моделирование с помощью одинаковых форм является промежуточным звеном между твердотельным и поверхностным моделированием. Адаптивные формы сохраняют историю создания. Делятся

адаптивные формы на базовые и составные. Строятся аналогично твердым телам. Созданные ранее тела и поверхности могут быть преобразованы в адаптивные формы. Над адаптивными формами производятся следующие операции:

Объединение двух и более элементов.

Вычитание одной адаптивной формы из другой.

Пересечение между двумя адаптивными формами с одновременным округлением получаемой общей частью.

Соединение двух незамкнутых адаптивных форм с общей границей.

(VIII) Оформление конструкторской документации.

В условиях применения сквозных технологий, когда информация непосредственно передается на станок, то чертеж теряет сбое ведущее положение. Для систем низшего уровня функция черчения является ведущей и единственной. В программных комплексах высшего и среднего уровней есть возможность создания чертежа по модели. Необходима 3-х мерная модель детали или сборки, содержащая всю информацию о геометрии чертежа.

Для получения чертежа:

Предварительный этап. Согласование систем координат чертежа с системами координат всех деталей, которые будут отображаться.

Выбор структуры чертежа.

Определение необходимых проекций изделия.

Оформление чертежа.

Структура чертежа содержит описание видов форматов чертежа. Виды в которых будут располагаться чертежи, проекции.

(IX) Структуры баз данных.

Нижний уровень: файловая структура хранения данных.

Верхний уровень: для хранения используются внутренние и внешние базы данных.

База данных - совокупность информации об объекте проектирования.

Структура - текущая информация сеанса работы.

Объектами проектирования являются результаты работы отдельных этапов.

3.1.4 Системы автоматического анализа

Системы автоматического анализа (CAE) подразделяются на:

- программные системы проектирования
- универсальные программы
- специализированные программы анализа
- программы анализа систем управления

Системы проектирования объединяют процессы конструирования и анализа в единый комплекс. К числу программных систем относятся:

Кати, Unigraphics.

Эти системы позволяют создать математически точную модель проектирования. Поэтому в них имеется система конструирования и анализа.

Недостаток: Возможности таких систем анализа ограничены по сравнению с универсальными программами и предназначены для решения следующих задач:

- проведение структурного анализа.
- линейного статического анализа.
- анализа деформаций.
- теплового анализа.
- анализа устойчивости.

Универсальные программы анализа позволяют проводить статический и динамический анализ, анализ устойчивости, нелинейный температурный анализ (с учетом процессов химических реакций). Может также быть проведен спектральный анализ, расчет электрического и магнитного поля. И так далее.

Универсальные программы используются при проектировании и решении смешанных задач. Анализ прочности при тепловом нагружении.

Универсальные программы имеют свои собственные средства геометрического моделирования, хотя они и ограничены по сравнению с первой группой.

Могут решаться задачи твердотельного моделирования сравнительно простых деталей. В универсальных программах есть стандартные протоколы данных.

Универсальные программы - Ansys (USA), Samtech (Бельгия), MSC.

Первый набор модулей Ansys (metaphysics) - физические явления с представленными ниже модулями.

Ansys (mechanicals) - решение задач прочности теплопередачи и акустики. Расчет оптимизации конструкции, определение перемещений, напряжений, усилий, давлений и температур.

Ansys (structural) - прочностной анализ с учетом геометрических и физических нелинейностей а так же нелинейного поведения конечных элементов и потерь устойчивости.

Ansys (Thermal) - анализ тепловых стационарных и нестационарных процессов.

Ansys (PrePost) - построение конечно-элементной сетки на стадии подготовки задач и обработки результатов решения.

Второй набор модулей.

Ansys (Flotran) – гидродинамика.

Ansys (Emag) - моделирование электромагнитных полей.

Ansys (Ls-Dyna) - динамика с учетом нелинейностей. Поведение изделий при ударных нагрузках.

Модули Samtech

1) Основные модули Samtech.

Thermal - нелинейный температурный анализ в стационарных и переходных режимах. Расчет задач теплопроводности. Исследование явлений удара молний и связанные с этим электрические и тепловые явления.

Asef - линейный статистический анализ с учетом нелинейных условий.

Spectrul - расчет случайных характеристик усталостных разрушений.

Repdyn - анализ переходных гармонических и сейсмических процессов. Stabile - определение устойчивости и потерь ее.

2) Дополнительные модули Samtech

Fourier – линейный, статический анализ задач Фурье.

Composites - база данных композитных материалов.

Rotor - динамический анализ вращательных механизмов.

MCS

MSC Nastran - анализ линейной статической и динамической устойчивости, теплопередачи.

MSC Patran - интегрирование сред систем моделирования, анализа и проектирование.

MSC Dytran - высоконелинейные быстротекущие динамические процессы. Столкновение конструкции с разрушением. Попадание предметов в авиадвигатель. Обрыв лопатки.

MSC Mars - комплексный нелинейный анализ конструкции и решение задач термопрочности.

Специализированные программы.

MSC Super Forge - штамповка и поковка. Объемное моделирование штампов.

Fuler - динамический анализ многокомпонентных систем.

ИСПА (АлексСофт) - расчет и анализ на прочность.

Полигон (ЦНИИ материалов) - система моделирования линейных гидравлических тепловых процессов.

Риман - расчет и анализ напряжений деформаций конструкций, в том числе ударных и при штамповке.

APM WinMashine - расчет деталей машин.

Программы анализа систем управления.

Исследование динамических процессов, протекающих в системах. Их регулирование и управление. MATRIX (Simulink, Vissum, Easy 5) МВТУ (динамические процессы).

3.2 Создание твердотельной модели шпиндельного узла

3.2.1 Выбор программного обеспечения для создания трехмерной модели изделия

Всегда программное обеспечение выбирается исходя из возможности оборудования, и тех функций, которые необходимы для выполнения программой.

В промышленных условиях или в условиях крупного исследовательского центра существует возможность использования рабочих станций высокой производительности. И, безусловно, далее выгодно иметь мощную рабочую станцию, используя ее 24 часа в сутки, чем много слабых компьютеров, которые не смогут справиться с огромными массивами данных при моделировании и решении сложных оптимизационных задач.

Для создания трехмерной модели шпиндельной бабки использовалось приложение Solid Works 2014 компании «Solid Works». Для проведения расчетов и экспериментов будут использованы дополнительные модели других производителей, полностью совместимых с Solid Works 2014 или более поздних версий. Это означает, что дополнительное программное обеспечение для своих расчетов будет использовать модель (файл), созданное в Solid Works 2014. Весь процесс проектирования и проведение расчетов производился на компьютере: процессор Pentium 3700 МГЦ; оперативная память 1024 Мб; видеопамять 512 Мб; операционная система Windows XP.

3.2.2 Характеристика программного продукта Solid Works 2014 и приложений

SolidWorks является седьмой версией конструкторской системы твердотельного параметрического моделирования машиностроительных конструкций, специально разработанной для использования на персональных компьютерах под управлением операционной системы Windows.

Результатом работы системы Solid Works является пространственная твердотельная параметрическая модель детали или сборки, которая затем передается в партнерские системы инженерных расчетов, проектирования технологической оснастки или системы генерации управляющих программ для станков с ЧПУ, а так же полностью законченные рабочие чертежи детали или полное описание сборочной единицы.

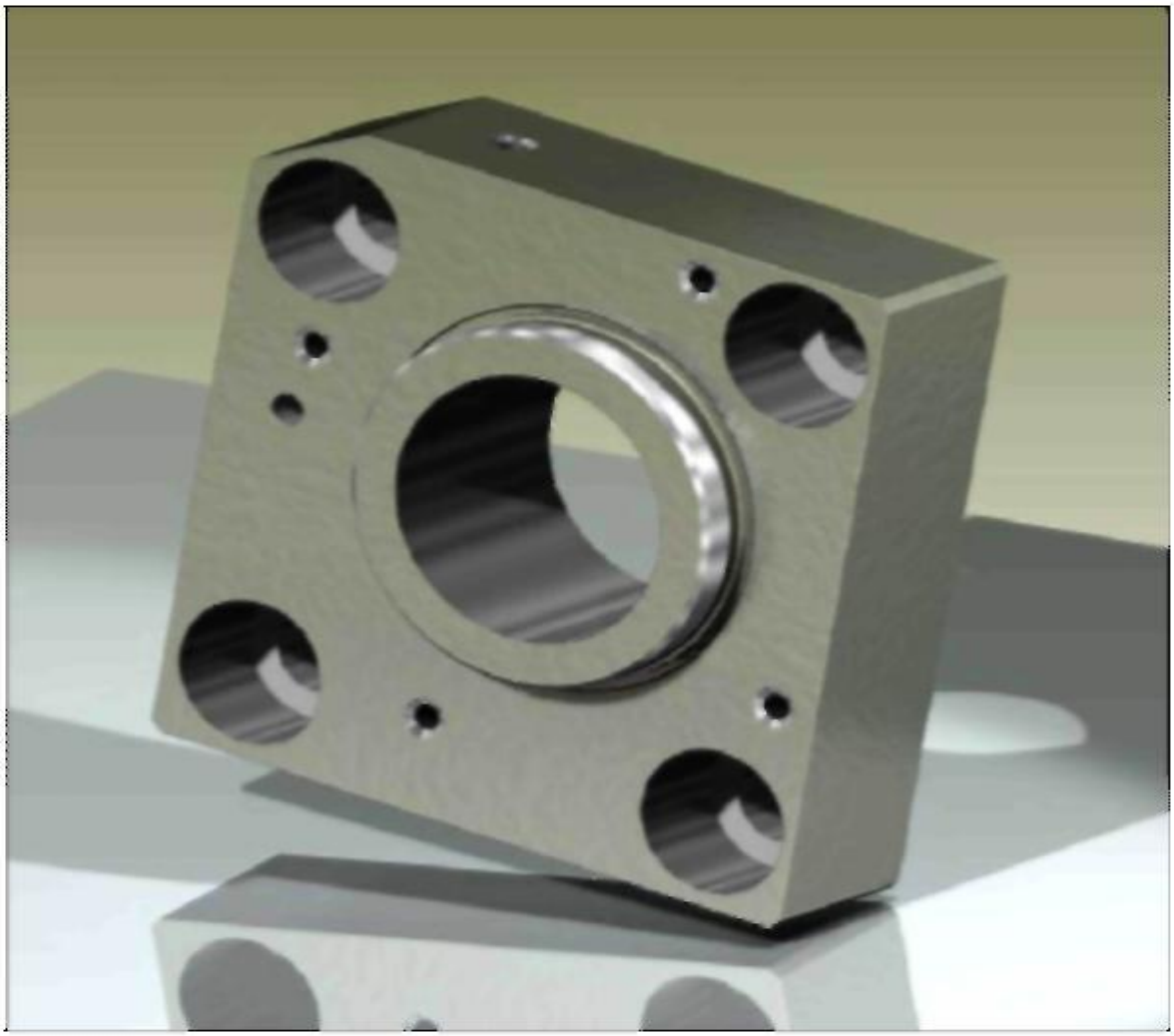


Рисунок 3.2 - Трехмерная модель детали, созданная с помощью SolidWorks 2014 и обработанная с помощью фотореалистичного приложения для получения эффекта реального изображения

Разработчиком системы SolidWorks является американская корпорация SolidWorks Corp, которая с 1997 года является частью французской компании Dassault Systemes, разрабатывающей известную CAD/CAM систему CATIA.

Система SolidWorks использует лицензированное геометрическое ядро Parasolid 10.0, это же ядро лежит в основе известного пакета Unigraphics фирмы EDS. Однако, несмотря на эти факты, компания SolidWorks имеет свою независимую техническую политику по отношению к Dassault Systemes и EDS. Профессиональное ядро Parasolid проверено на практике в течение многих лет и отличается своей точностью, надежностью и быстротой вычислений. Благодаря ядру Parasolid SolidWorks обладает высокой функциональностью при работе с твердым телом и позволяет образовывать очень сложные твердотельные элементы. В отличие от других CAD систем, SolidWorks изначально разрабатывалась так, чтобы использовать все преимущества 32-разрядных операционных систем Microsoft Windows 95/98/NT, а сейчас и XP. Она полностью ориентирована на Windows и поддерживает многозадачность и передовые технологии Windows, такие как OLE 2.0, OLE for D&M, OLE for G&T, drag-and-drop, copy-and-paste, MFC, OpenGL и т.д.

SolidWorks представляет собой систему позволяющую создавать управляемые размерами твердотельные модели и может служить ядром для решения множества различных инженерных задач. Она способна автоматически создавать чертежи, ассоциированные с моделью так, что изменения сделанные в модели отражаются и в чертеже, или, наоборот, по желанию конструктора SolidWorks поддерживает режим формирования сборочных единиц по ссылкам на составляющие сборку детали и позволяет редактировать эти детали в контексте сборки.

Toolbox/SE представляет собой полностью интегрированную в SolidWorks библиотеку стандартных машиностроительных элементов. Система разработана американской фирмой Cimlogic. Toolbox/SE используется для создания таких стандартных конструктивных элементов и деталей, таких как:

Различные типы отверстий сложного профиля;

Болты, гайки, винты, шпильки, винты и шайбы;

Различные виды проточек;

Поперечные сечения стандартного проката.

Кроме того, система позволяет выполнить простейший расчет прогиба балок.

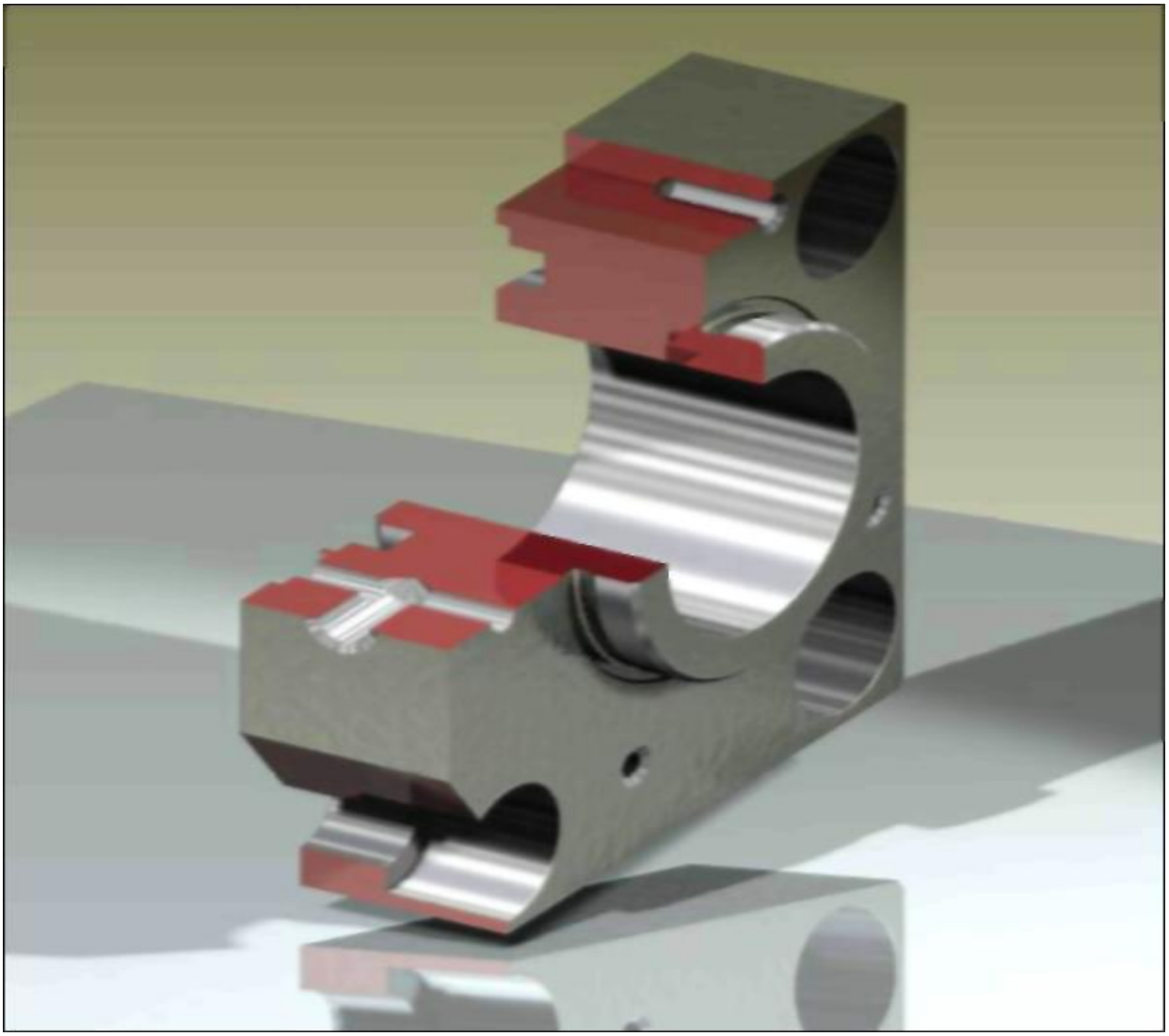


Рисунок 3.3 - Создание выреза в трехмерной модели для более наглядного представления о ее конструкции

Вышеперечисленные элементы создаются в соответствии со стандартами ANSI, ISO, DIN, BSI, JIS. Предусмотрена возможность адаптации к требованиям ЕСКД, а также к стандартам отрасли или конкретного предприятия.

COSMOS/Works представляет собой систему инженерных расчетов, созданную специально для совместного использования с системой

твердотельного параметрического моделирования SolidWorks. Все расчеты проводятся на основе метода конечных элементов (МКЭ). Система COSMOS/Works разработана американской компанией Structural Research & Analysis Corporation и поставляется в трех вариантах конфигурации: базовой (Basic), промежуточной (Intermediate) и расширенной (Advanced).

Базовая конфигурация позволяет проводить следующие виды расчетов:

Статический расчет напряжений и деформаций;

Расчет продольного изгиба для определения критической нагрузки, при которой прямолинейная форма равновесия центрально-сжатого стержня становится неустойчивой;

Частотный анализ для определения собственных частот и форм колебаний;

Расчет установившихся и переходных тепловых процессов.

Промежуточная конфигурация в дополнение к возможностям базовой обеспечивает:

Линейный динамический анализ с использованием результатов частотного анализа;

Статический и динамический нелинейный структурный анализ.

Расширенная конфигурация по сравнению с промежуточной обеспечивает:

Анализ усталости;

Анализ ламинарного течения жидкости;

Оптимизацию формы и конструкции детали;

Анализ низкочастотного электромагнитного излучения.

При проведении разбиения твердого тела на конечные элементы используются так называемые h-элементы. Точность решения при использовании h-элементов повышается за счет улучшения качества наносимой сетки КЭ. Для проведения расчетов система позволяет использовать как объемные типы конечных элементов, так и поверхностные, что очень удобно при анализе тонкостенных оболочек.

Объемные элементы представляют собой трехмерные тетраэдрические элементы (линейные и параболические), получаемые при нанесении сетки конечных элементов на твердое тело. Поверхностные конечные элементы могут быть треугольными и квадратичными, а также линейными и параболическими.

COSMOS/Works позволяет передавать результаты вычислений в системы ANSYS и MSC/NASTRAN. Кроме того, пользователь может сохранять результаты расчета в формате VRML, а также создавать AVI - файлы на основе анимационного представления погружения детали.

Это приложение будет использовано для расчетов, поэтому про конечные элементы данного программного продукта будет сказано позднее.

На первых двух листах проекта изображены общий вид станка и шпиндельная бабка. Ставится задача создать твердотельную модель шпиндельной бабки. Процесс создания выглядит как последовательное создание отдельных деталей. Далее детали собираются в сборочные узлы, как того требует настоящее изделие. В конце концов, из сборочных единиц создается последний сборочный файл, именуемый сборкой, который и есть твердотельная модель шпиндельного узла.

3.2.3 Процесс проектирования в среде SolidWorks. Создание модели шпиндельной бабки

Характеристика сборки: число компонентов – 541; деталей – 503; сборочных узлов – 38; сопряжений – 84.

Массовые характеристики шпиндельная бабка в сборе:

Масса = 4 9094. 01 граммов

Объем = 4 9094008. 78 кубических миллиметра

Площадь поверхности = 6906795.30 квадратных миллиметра

Центр масс: (Миллиметры)

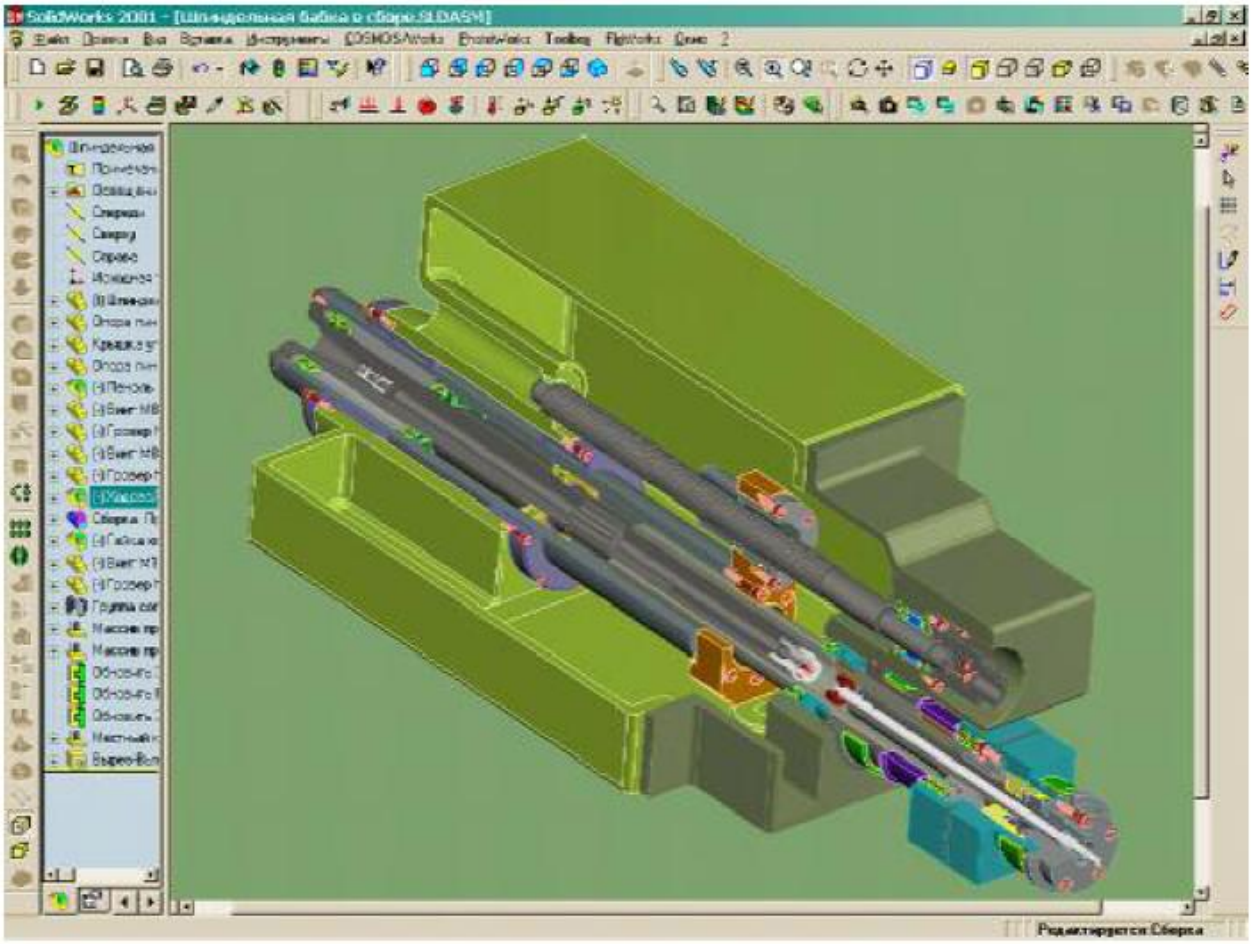


Рисунок 3.4 - Общий вид окна программы с моделью шпиндельной бабки станка Horizon

X= - 48.07

У=150.25

Z= - 491.64

Основные оси инерции и основные моменты инерции:(граммов* квадратных Миллиметры)

центр масс

lx = (0.00, - 0.03, 1.00) Px = 15874 77250.84

1y=(0.69,-0.73,-0.03) Py=7828576327.23

lz = (0. 73, 0.69, 0.02) Pz = 8505464117.13

Моменты инерции: (граммов * квадратных Миллиметры)

(центр масс выровнен с системой координат)

Lxx = 8185642462.02 Lxy = -338065899.54 Lxz= -1597817.51

Lyx = -338065899.54 Lyy = 8141069744.78 Lyz= -218935285.86

Lzx= -1597817.51 Lzy= -218935285.86 Lzz = 1594805488.40

Моменты инерции (граммов* кв. Миллиметры)

Вычисляется с помощью активной системы координат.

lxx = 21160331436.09 lxy = -692647519.08 lxz = 168677371.89

lyx= -692647519.08 lyy= 20120973917.13 lyz= -3845339521.84

lzx= 1158677371.89 lzy = -3845339521.84 lzz = 2816488467.49

Сборочные узлы, входящие в сборку пиноли:

Механизм зажима инструмента;

Радиально-упорный шариковый подшипник;

Радиальный шариковый подшипник.

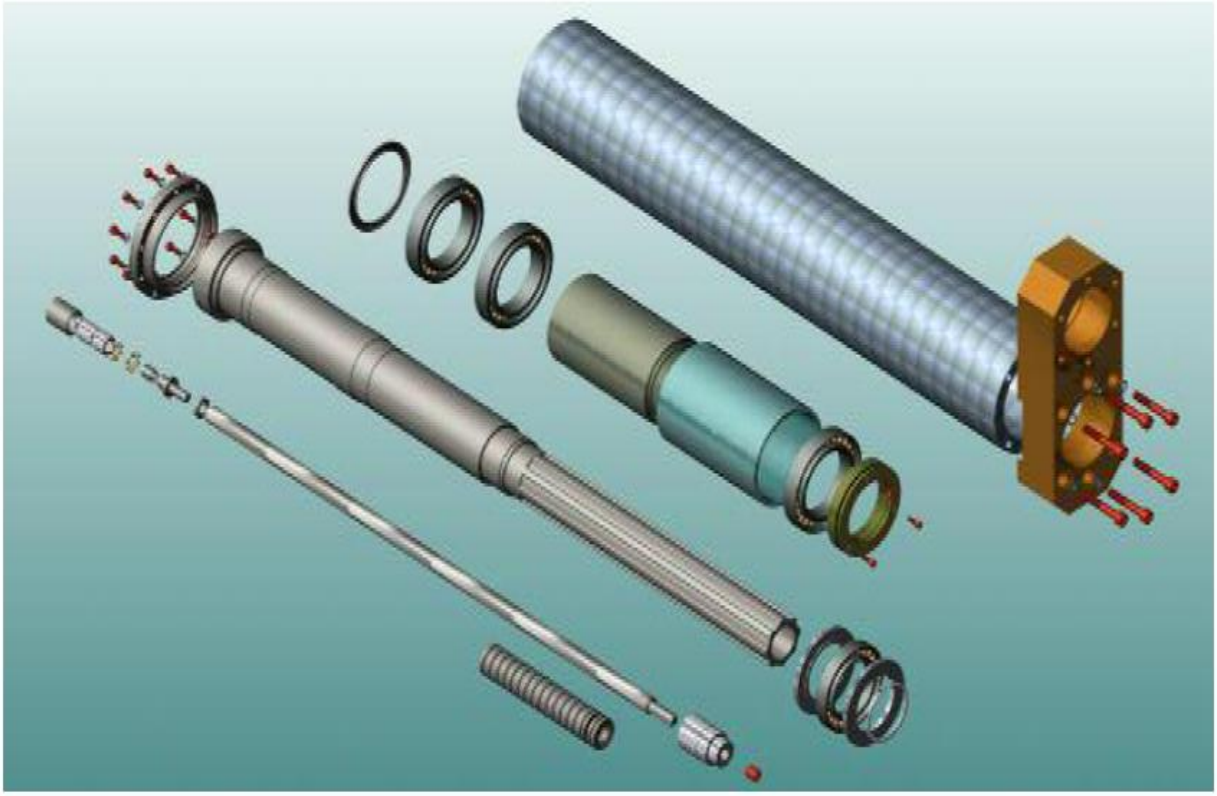


Рисунок 3.5 - Пиноль станка в разобранном виде

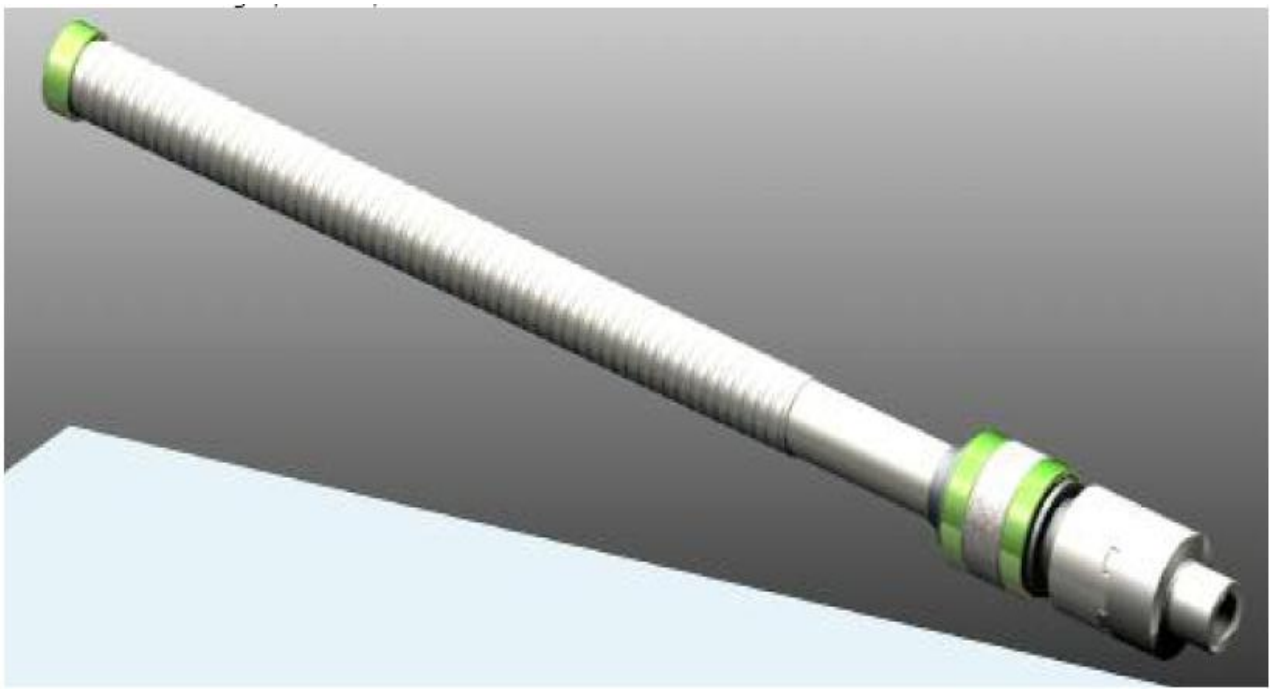


Рисунок 3.6 - Ходовой винт без гайки

Сборочные узлы, входящие в сборку привода подач:

Ходовая гайка;

Радиально-упорный подшипник;

Сборочные узлы, входящие в сборку шлицевого вала:

Радиальный шариковый подшипник;

Барабан.

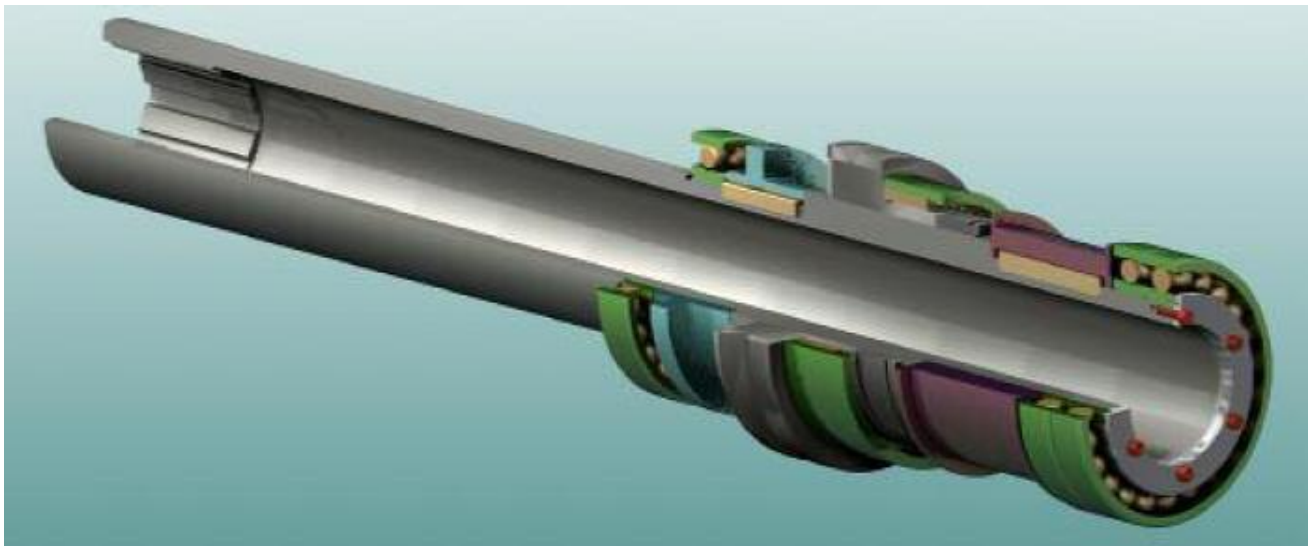


Рисунок 3.7 - Шлицевой вал в разрезе

Сборочные узлы, входящие в сборку механизма зажима инструмента:

Гидроцилиндр;

Шток гидроцилиндра.

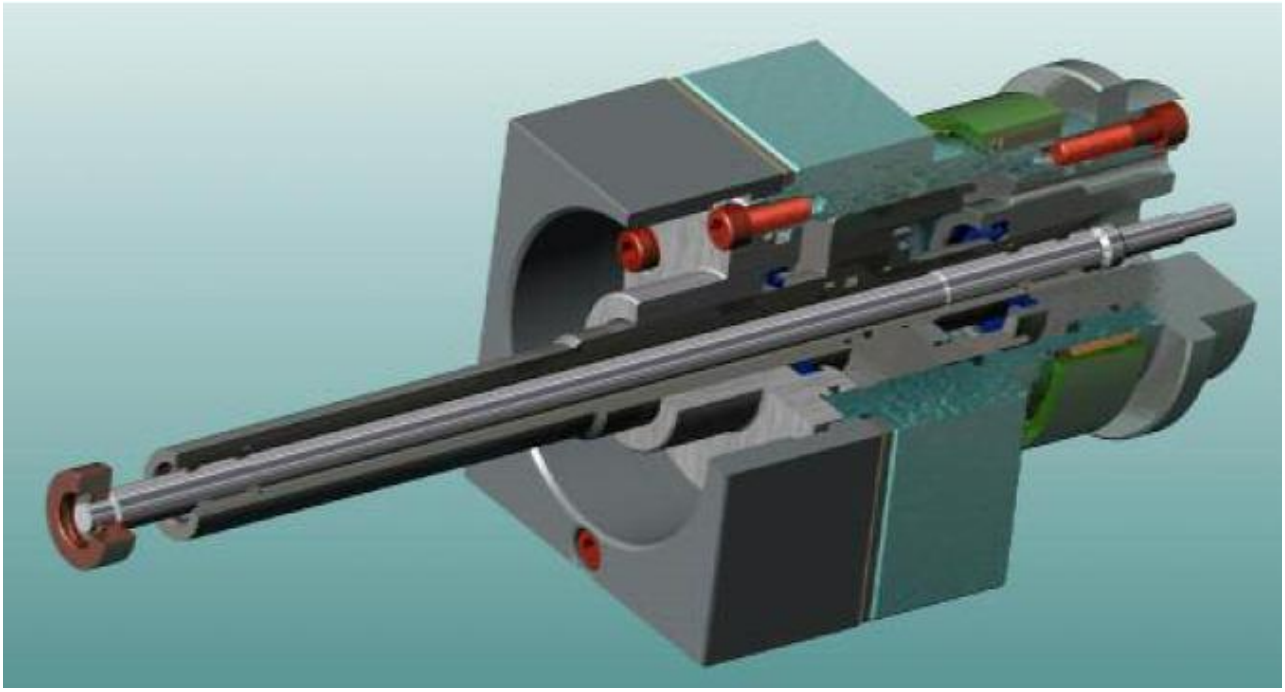


Рисунок 3.8 - Гидроцилиндр механизма зажима инструмента

Глава 4 Исследование влияния качества 3D модели на структуру результатов расчета деформаций силовых узлов

Произведем тестовый расчет в программе COSMOS Works 2014. В качестве первого эксперимента определим прогиб статически определимой задачи - консольно-закрепленной балки. Это необходимо для понятия интерфейса программы, а так же для оценки ее точностных возможностей.

Рисунок 4.1 - Схема рассчитываемой балки

Балка закреплена вертикально. Ее длина составляет 150 мм. Изгибающая сила приложена к более широкой грани b длиной 40 мм. Изгиб происходит относительно оси X (Грань h = 30 мм). Влияние гравитации не учитывается. Общая нагрузка составляет 10000 Н.

Из теории сопротивления материалов известно, что прогиб консольно-закрепленной балки пропорционален приложенной в этом месте силе и обратно пропорционален жесткости в направлении действия этой силы:

$$y = \frac{F}{j} \tag{4.1}$$

Жесткость для бруска прямоугольного сечения определяется:

$$j = \frac{E \cdot J \cdot 3}{l^3}, \tag{4.2}$$

где: модуль упругости E = $21 \cdot 10^5$ МПа; момент инерции относительно оси изгиба: $J_x = \frac{b \cdot h^3}{12}$, где большая сторона прямоугольника b = 40мм, меньшая сторона прямоугольника h = 30мм. Тогда $J_x = 9 \cdot 10^4 мм^4$; длина бруска l = 150 мм; нагрузка на балку F = 10000 Н.

Тогда определяется прогиб от нагрузки для консольно закрепленной балки при жесткости:

$$j = \frac{E \cdot J_x \cdot 3}{l^3} \qquad j = 1.68 \cdot 10^4 \frac{H}{мм}$$

$$y = \frac{F}{j} \quad \text{y=0.6 мм}$$

Итак, теоретически полученный прогиб следует сравнить с результатом расчета программы. Поскольку программа разбивает тело модели на конечные элементы, следовательно, точность расчетов зависит от количества и вида этих конечных элементов. Необходимо оценить погрешность расчета данной программы в различных вариантах используемых твердотельных сетей.

В этом и последующих расчетах в качестве материала будет применена сталь, свойства которой указаны в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Свойства стали

Свойство	Описание	Значение	Ед. измерения
EX	Модуль упругости	2.1e+011	$Н / м^2$
NUXY	Коэффициент Пуассона	0.28	
GXY	Модуль сдвига	7.8999998e+010	$Н / м^2$
DENS	Массовая	7700.0001	$кг / м^3$

	плотность		
SIGXT	Предел прочности при растяжении	7.2382562e+008	$Н / м^2$
SIGYLD	Предел текучести	6.20422e+008	$Н / м^2$

4.1 Расчет с использованием грубой сетки конечных элементов

Самым простым в данной задаче будет линейный конечный элемент в форме тетраэдра с шестью ребрами, четырьмя вершинами и четырьмя гранями. Никаких промежуточных узлов между вершинами не будет. В дальнейшем будет использована сеть с нелинейными тетраэдными элементами для более точного исследования. Нелинейные элементы по середине каждой грани еще по одному узлу. Таким образом, всего будет 10 узлов у параболического тетраэдра. Эти дополнительные шесть узлов не связаны с другими как вершинные узлы, а служат для уточнения результатов.

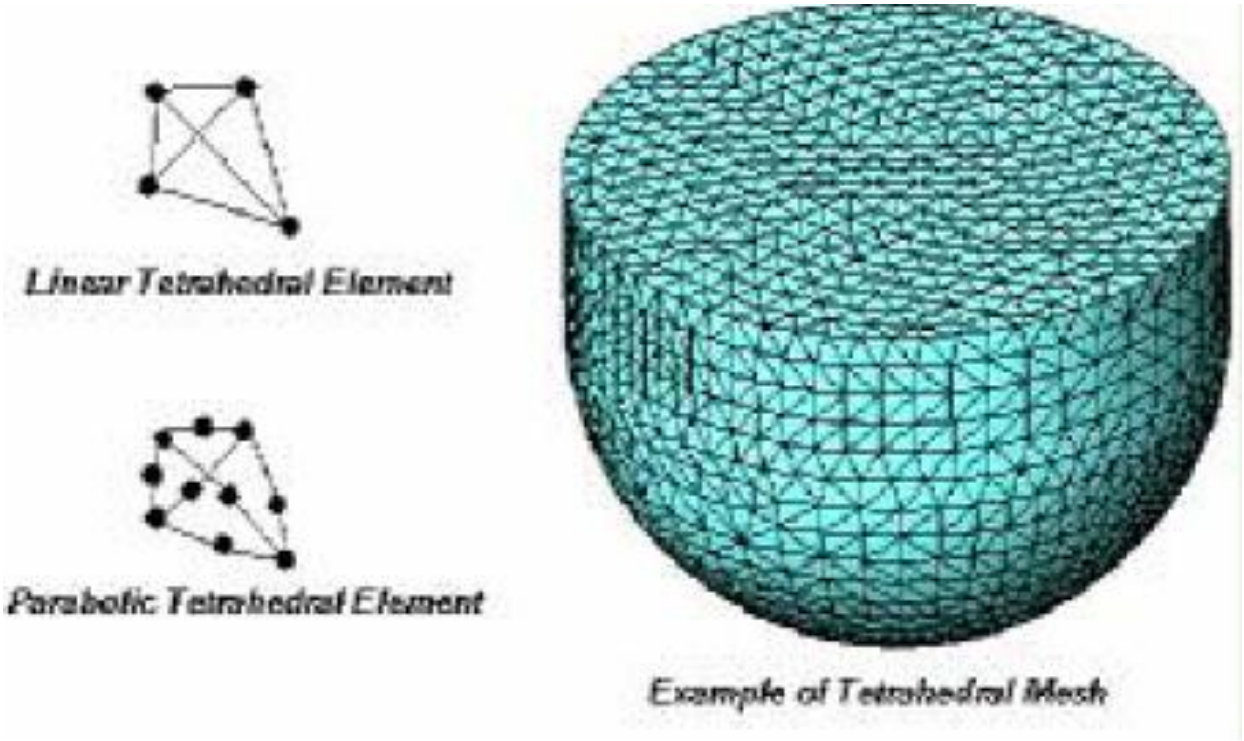


Рисунок 4.2 - Пример сетки из тетраэдных элементов

Рисунок 4.3 - Панель для выбора размера конечного элемента и его допуска точности

Создание сетки происходит выбором соответствующей длины ребра тетраэдра и точности их «сшивания». Для надежности и устойчивости расчетов не следует округлять предлагаемые цифры. Для их изменения лучше всего просто менять бегунок.

Менять последнюю величину не рекомендуется, так как возможно не получится завершить процесс окончания создания сетки в теле. Итак, выбираем размер элемента 11 мм, а точность «сшивания» узлов – 0,5 мм. Таким образом, полученная сетка тетраэдров состоит из 1012 элементов с 298 узлами.

Время создания сети 2 секунды. Одна секунда тратится на определение контура твердого тела, а другая на создание конечных элементов.

Далее запускаем на исполнение модуль расчета. Расчет производится на все параметры, необходимые для определения прогиба. Время расчета порядка одной секунды.

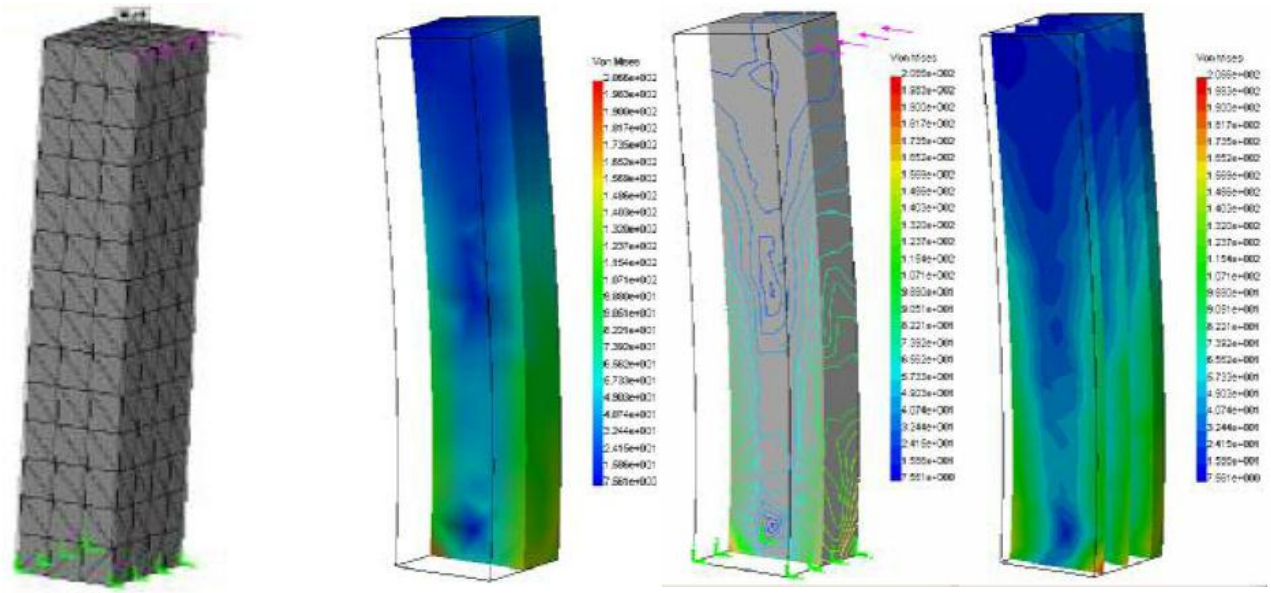


Рисунок 4.4 - Полученная сетка конечных элементов с нагрузками и закреплением

Рисунок 4.5 - Результаты расчета прогиба балки (эквивалентные напряжения) в различных сечениях и способах визуализации

Картина распределения перемещений в мм представлена на рисунке 4.6.

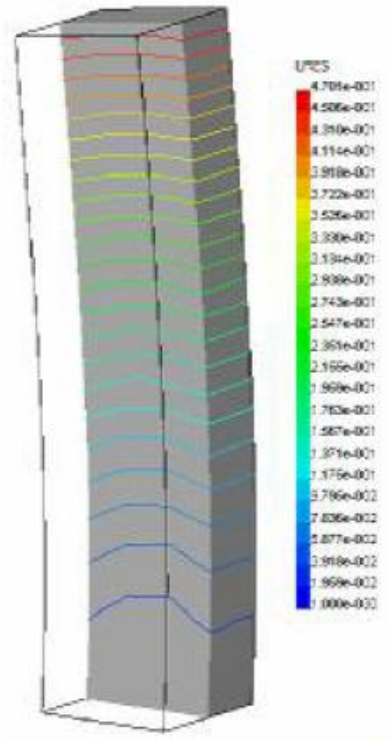


Рисунок 4.6 - Распределение перемещений по длине балки

Видно, что максимальный прогиб балки составляет не более 0.47 мм. Погрешность расчета стремится в сторону уменьшения результата.

Ошибка составляет:

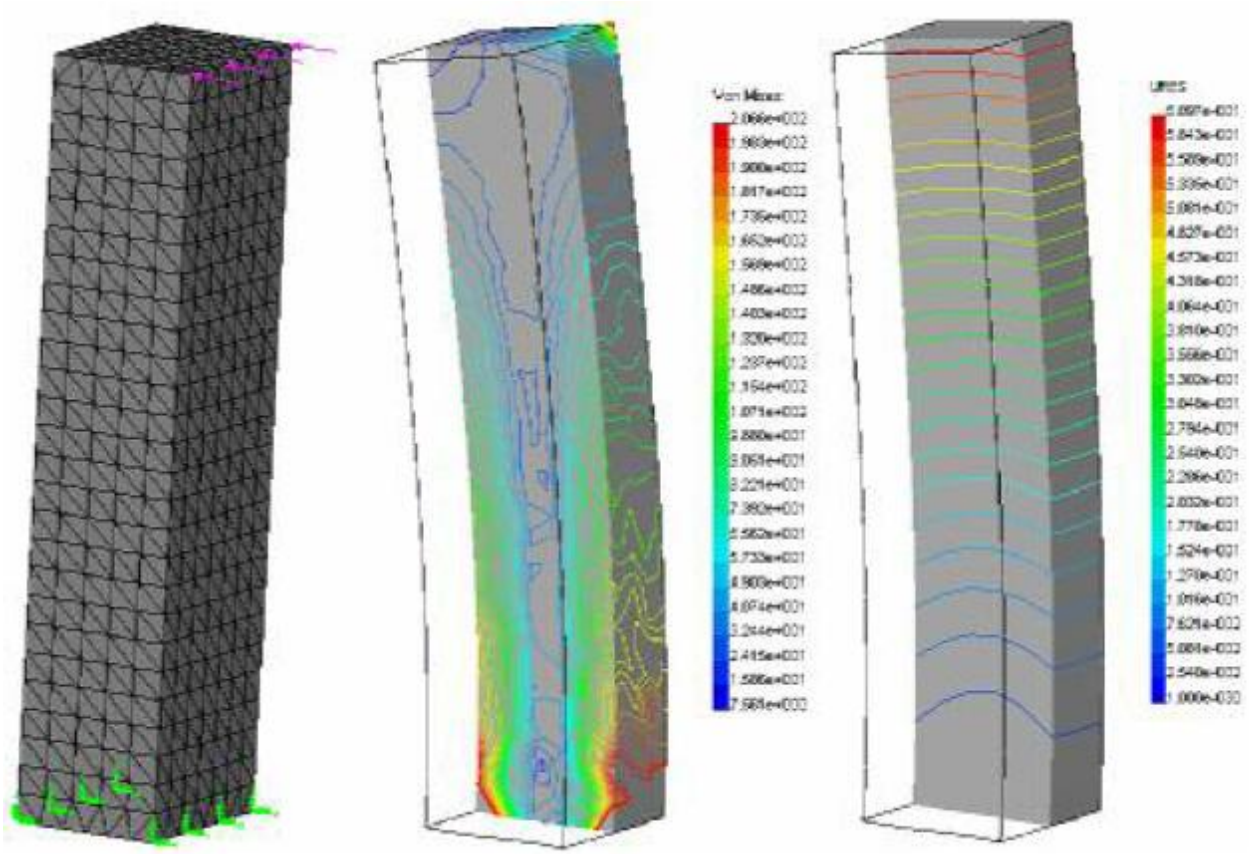
$$\Delta := \frac{y - 0.47}{y} \cdot 100$$

$$\Delta = 21.04\%$$

4.2 Расчет с использованием размеров сетки конечных элементов, рекомендуемых программным обеспечением

Определение параметров сетки для расчетов выбираются такие, какие предлагает программное обеспечение. В этом случае размер элемента равен 5 мм, а точность «сшивания» узлов – 0,2 мм. Всего элементов – 6622, всего узлов – 1493. Время создания сетки порядка 5 секунд. Время расчета порядка 5 секунд.

После проведенного расчета получили соответствующую картину напряжений и перемещений. На рисунке 4.7 *а* представлена сетка конечных элементов, 4.7 *б* – картина эквивалентных напряжений, 4.7 *в* – диаграмма распределения перемещений.



а) *б)* *в)*

а) – сетка конечных элементов; *б)* – картина эквивалентных напряжений; *в)* – диаграмма распределения перемещений

Рисунок 4.7 - Результаты расчета

В результате расчетов получили, что максимальный прогиб составляет 0,60967 мм.

Погрешность составляет:

$$\Delta := \frac{y - 0.6097}{y} \cdot 100$$

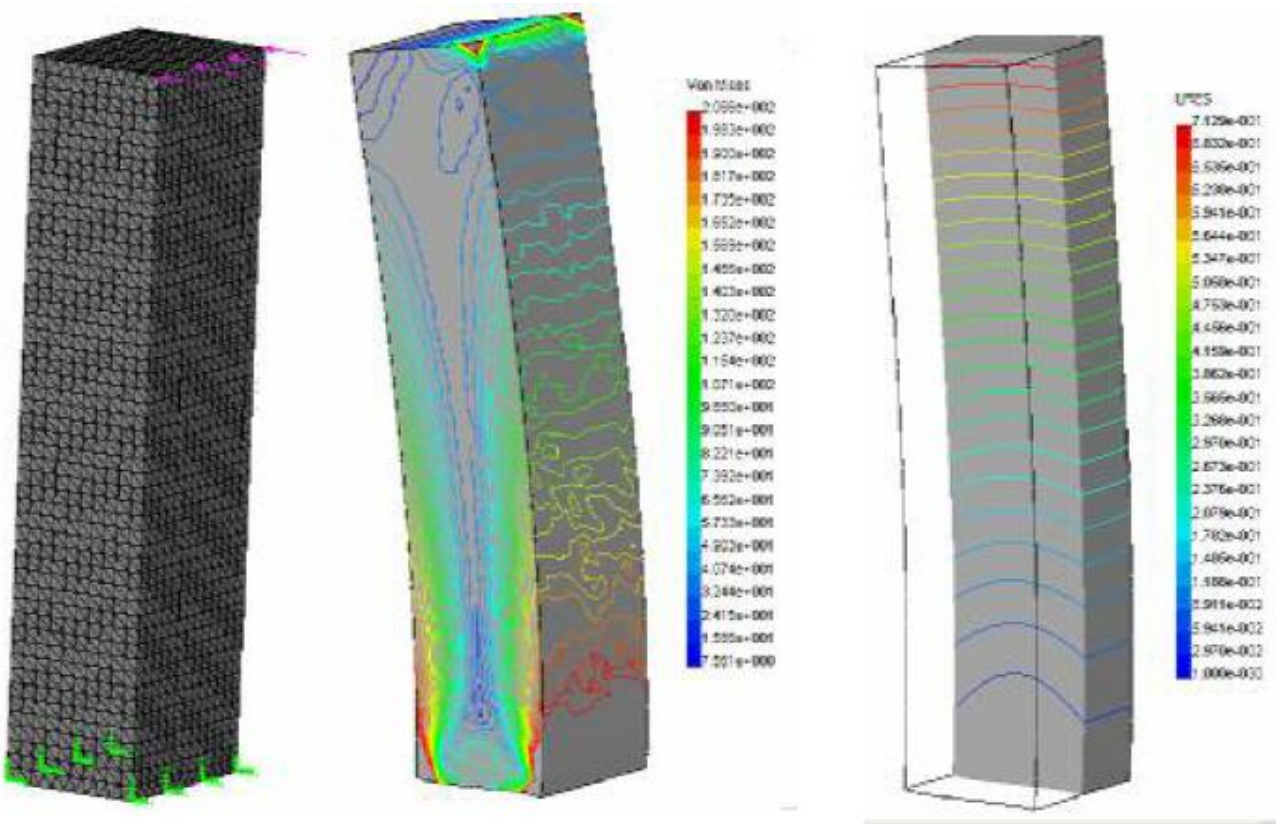
$$|\Delta| = 2.43\%$$

Уже заметно, что погрешность стремится в сторону увеличения результата. Хотя в других задачах результат может быть и уменьшен. Результат так же зависит и от размера твердого тела. Вполне удовлетворительный результат.

4.3 Расчет с использованием подробной сетки конечных элементов

Проведем расчет со средним размером элемента, равным 2 мм. Всего элементов – 45908, всего узлов – 8937. Время создания сетки 25 секунд. Время счета задачи - 1минута и 10 секунд.

Результаты расчета приведены на рисунке 3.8.



а) *б)* *в)*

а) – сетка конечных элементов; *б)* – картина эквивалентных напряжений; *в)* – диаграмма распределения перемещений

Рисунок 3.8 - Результаты расчета

После расчетов получили, что максимальный прогиб составляет 0,713 мм.

Погрешность составляет:

$$\Delta := \frac{y - 0.713}{y} \cdot 100$$

$$|\Delta| = 19,78\%$$

Видно, что погрешность теперь стремится в сторону увеличения результата.

4.4 Промежуточные выводы

В результате проведенного эксперимента на простых конечных элементах построим некоторую конечную таблицу величин, характеризующую каждый из видов расчета.

Таблица 4.2 - Сравнительные характеристики для различных вариантов расчета

	min КЭ	предлагаемый КЭ	max КЭ
Длина грани	11,013 мм	5,6478 мм	2,9651мм
Число узлов	298	1493	8937
Число элементов	1012	6622	45908
Время создания сетки	2с	5с	25с
Время счета задачи	1с	5с	70с
Погрешность расчета	21,4%	2,43%	19,78%

По точности наиболее подходящими оказались такие параметры сети, которые предлагает выбрать по умолчанию сама программа. Поэтому для дальнейших расчетов, в том числе и с конечными элементами (КЭ) нелинейного типа, размеры граней тетраэдров при создании сети конечных элементов будут выбраны меньше или предлагаемые программой. Меньшие значения в случаях, где необходимо уменьшить время счета задачи.

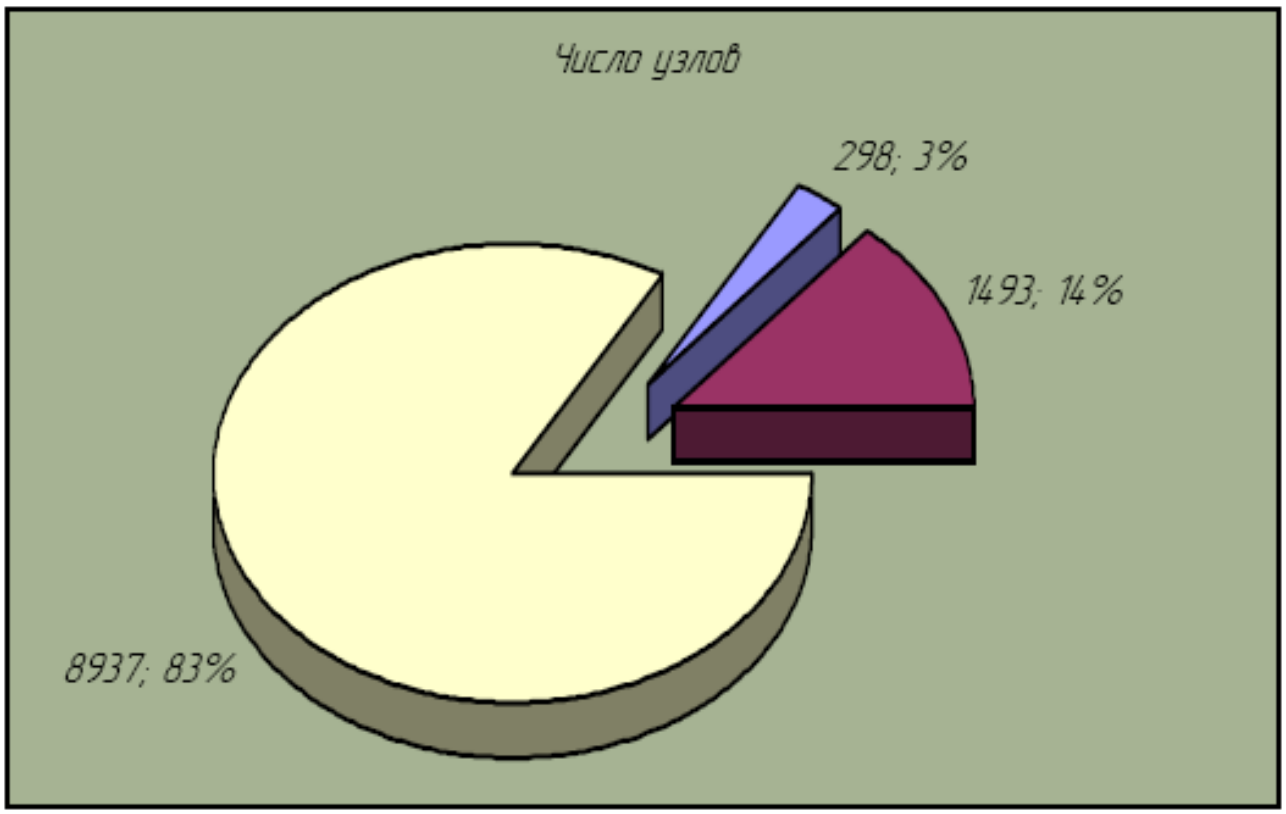


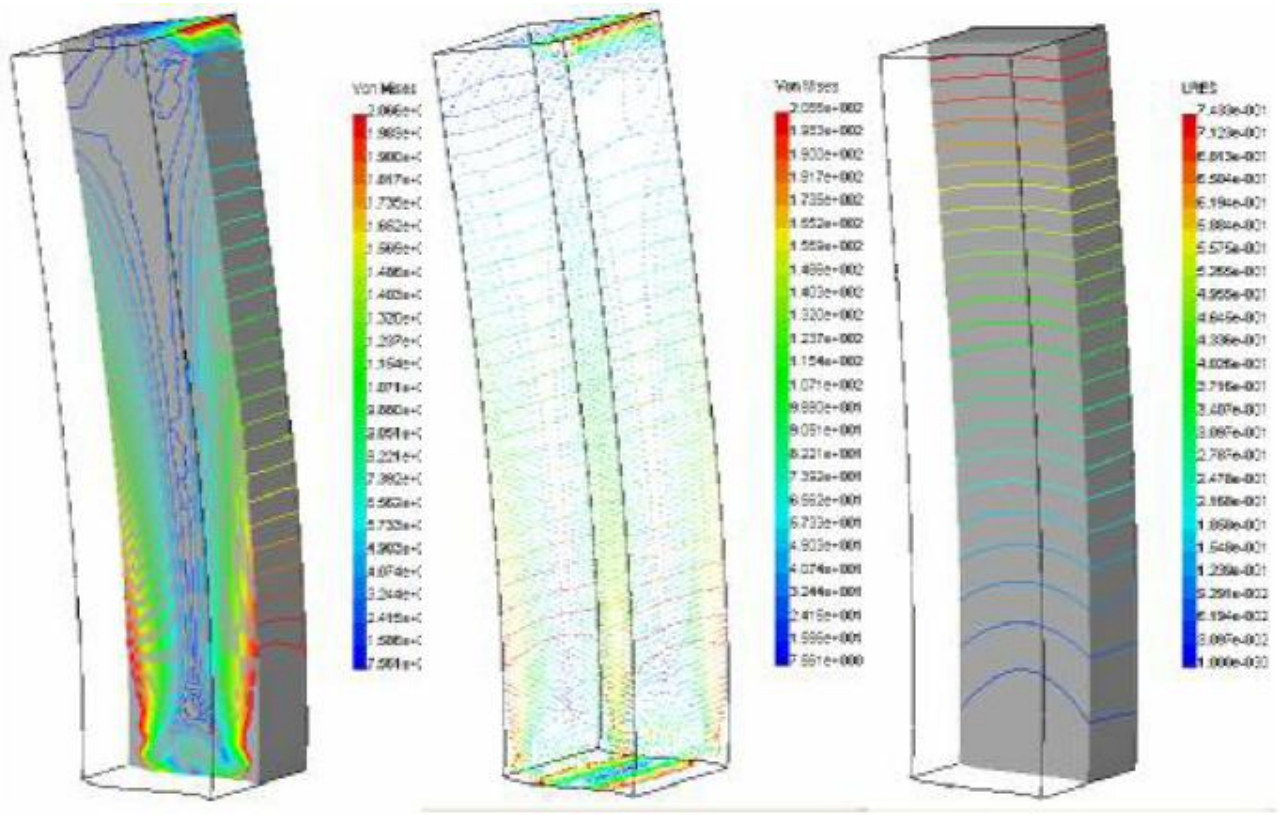
Рисунок 4.9 - Процентное и численное соотношение числа узлов для каждого способа расчета. Хорошо видно, что число узлов меняется почти на два порядка

4.5 Расчет с использованием нелинейных конечных элементов оптимальных размеров

Для более полного обзора возможностей программы требуется решить задачу с использованием более сложных методов.

Создается сеть с нелинейными конечными элементами. Размер элемента – 5,6 мм, Время создания сетки 6 секунд.

По сравнению с линейным КЭ, где число узлов 1493, в данном случае их уже 10341. Расчет задачи длился 10 секунд. Это вдвое больше чем при линейном КЭ. Внешний вид самой сетки по сравнению со вторым экспериментом не изменится. Результаты расчета приведены на рисунке 3.10.



а) *б)*

а) – картина эквивалентных напряжений; *б)* – диаграмма распределения перемещений

Рисунок 4.10 - Результаты расчета с использованием нелинейных КЭ

Максимальное значение прогиба 0,7818 мм.

Погрешность расчета:

$$\Delta := \frac{y - 0.7818}{y} \cdot 100$$

$$|\Delta| = 31{,}34\%$$

Что больше результата полученного аналитически. Увеличение числа узлов приводит к значительному накоплению погрешности в данной задаче.

Все диаграммы суммарных напряжений были выполнены в масштабе относительно первого эксперимента. Т.е. можно наблюдать увеличение обшей насыщенности напряжений. Фактически увеличение числа элементов приводит к увеличению общей величины напряжений в сечении и как следствие увеличение прогиба. Максимальные напряжения всех четырех случаев расчета сведены в таблицу 4.3

Таблица 4.3 - Величины рассчитанных максимальных напряжений в задаче прогиба консольной балки в зависимости от КЭ и погрешности расчета величины прогиба

Вид сетки	Напряжение, МПа	Погрешность
Простая	206	214 %
Рекомендуемая	475	2,43%
Сложная	922	19,78%
Рекомендуемая (нелинейная)	1607	31,34

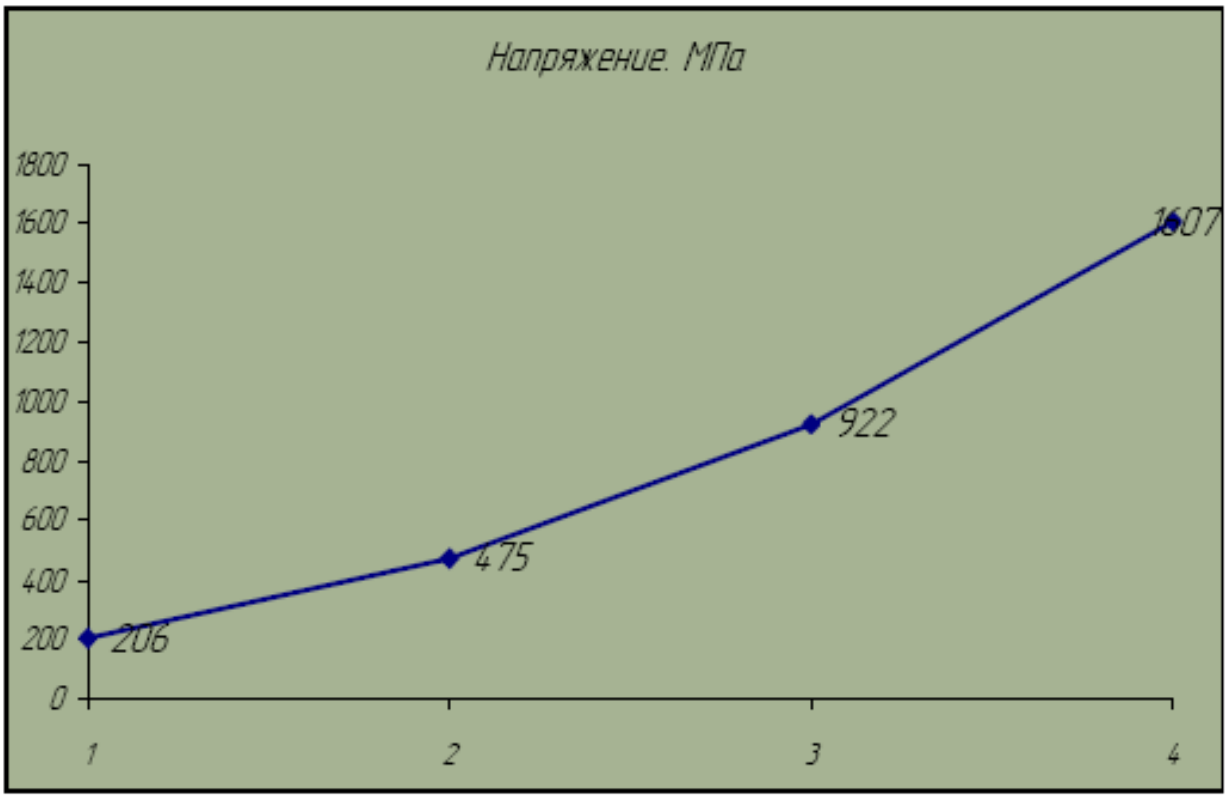


Рисунок 4.11 - Диаграмма изменения напряжений в зависимости от вида КЭ

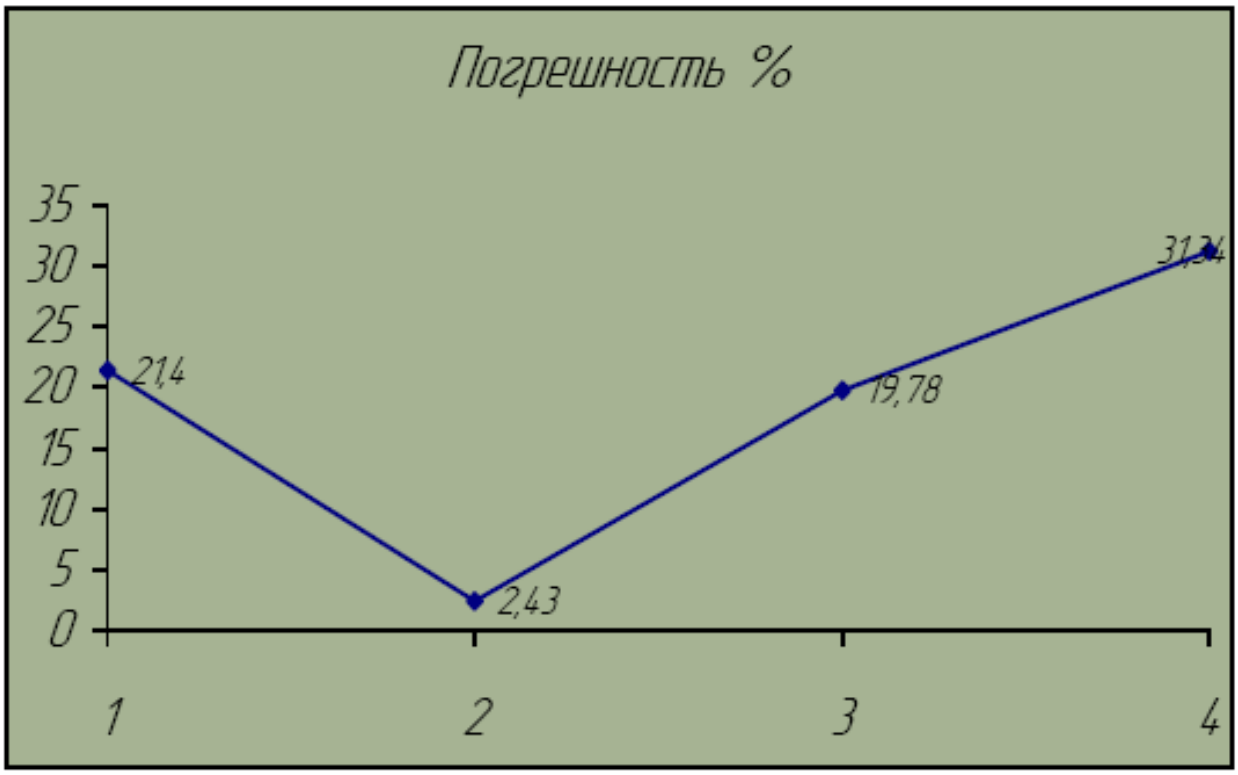


Рисунок 4.12 - Диаграмма изменения погрешности расчета в зависимости от вида КЭ

Из результатов исследований следует, что для простых задач, где сама форма и размеры твердого тела не велики (объем материала), следует применять линейные конечные элементы со средней точностью (предлагаемые по умолчанию).

Для изделий сложной формы и тоже небольшого размера следует увеличивать число КЭ, а так же уже применять нелинейные формы конечных элементов. Для очень сложных изделий и сборок для оценочных расчетов следует применять простые КЭ с небольшим их количеством, а для окончательных расчетов перейти на нелинейные модели и принять среднее их количество.

Глава 5 Параметризация и моделирование напряженных состояний силовых узлов станка

5.1 Терморасчет модели станины станка

Упрощенная модель станины станка для определения тепловых деформаций легче всего представить в виде стойки с консольно-закрепленной шпиндельной бабкой. Отверстия - направляющие для движения пиноли.

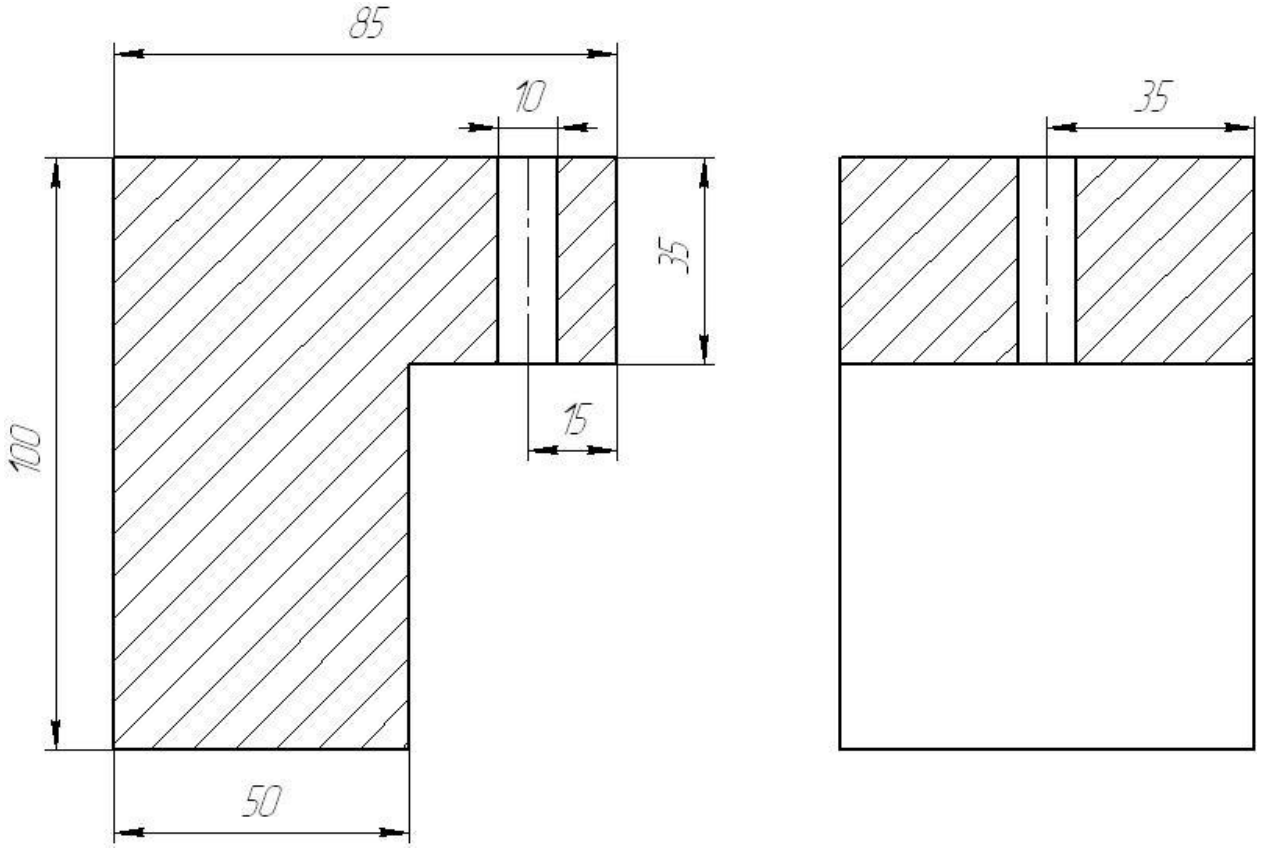


Рисунок 5.1 – Чертеж упрощенной модели станины

Ставится задача определить распределение температур и температурные деформации в установившемся температурном режиме модели. Решается стационарная задача теплопроводности. На первом этапе необходимо создать конечно-элементную сетку для расчета.

Поверхность вертикального отверстия является тепловым источником с мощностью 100 Вт. Поверхность помечена синими треугольниками. Основание тела стоит на основании (пол) с постоянной температурой 20 °C.

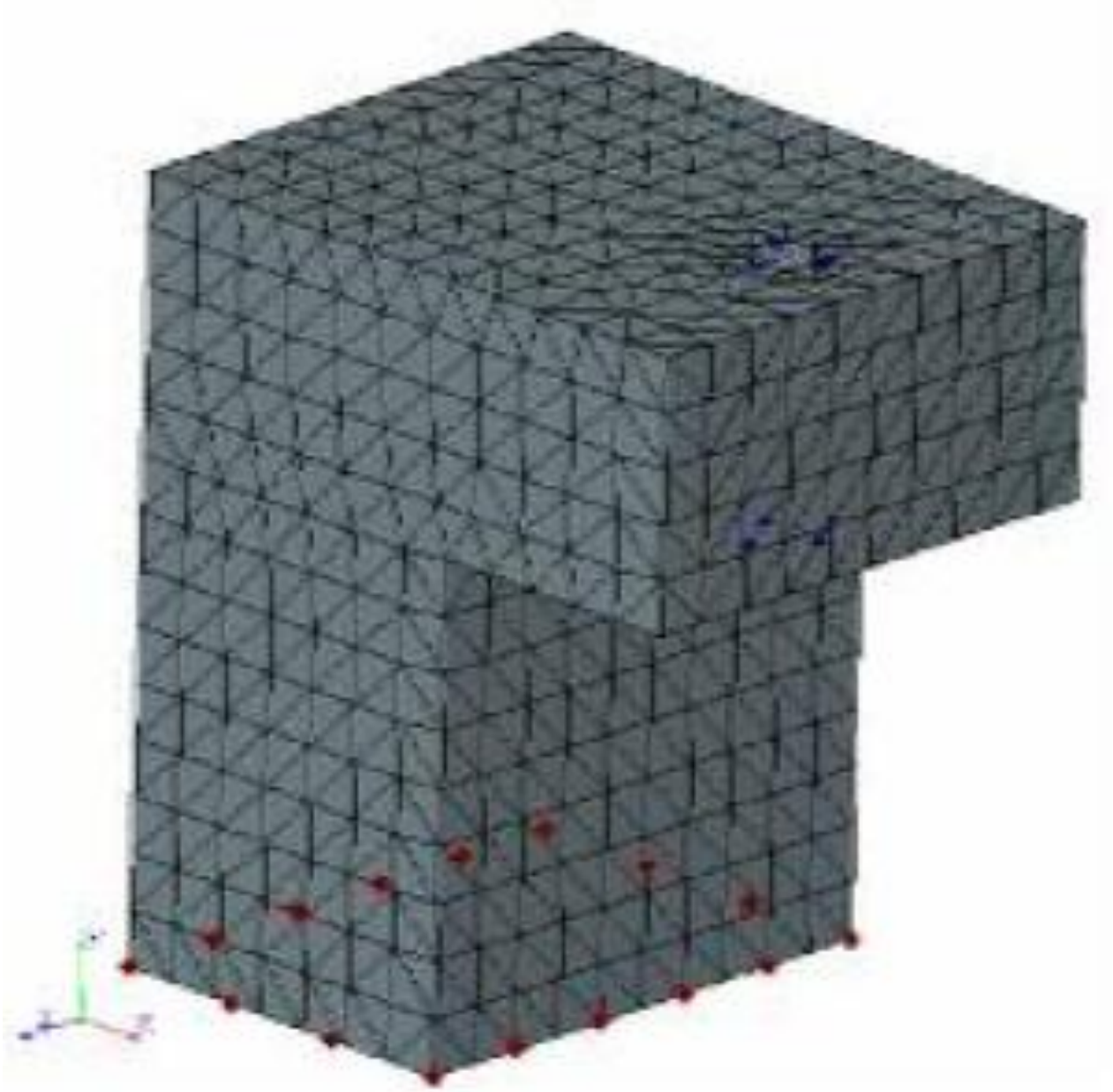


Рисунок 5.2 - Сетка конечных элементов с тепловой нагрузкой (отверстие) и граничными условиями (пол)

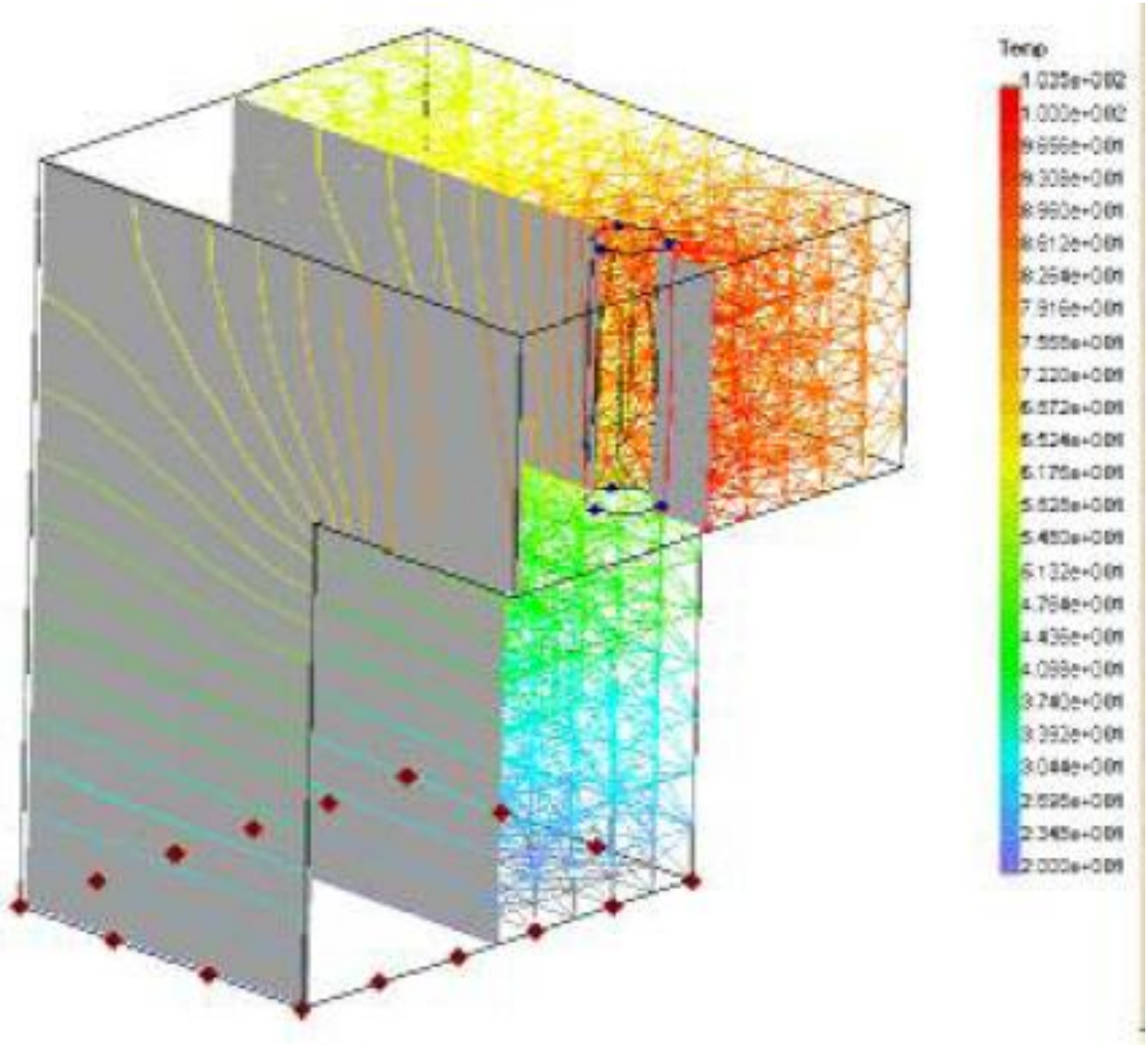


Рисунок 5.3 - Распределение температурных полей в градусах Цельсия.

Максимальная температура – 104 градуса

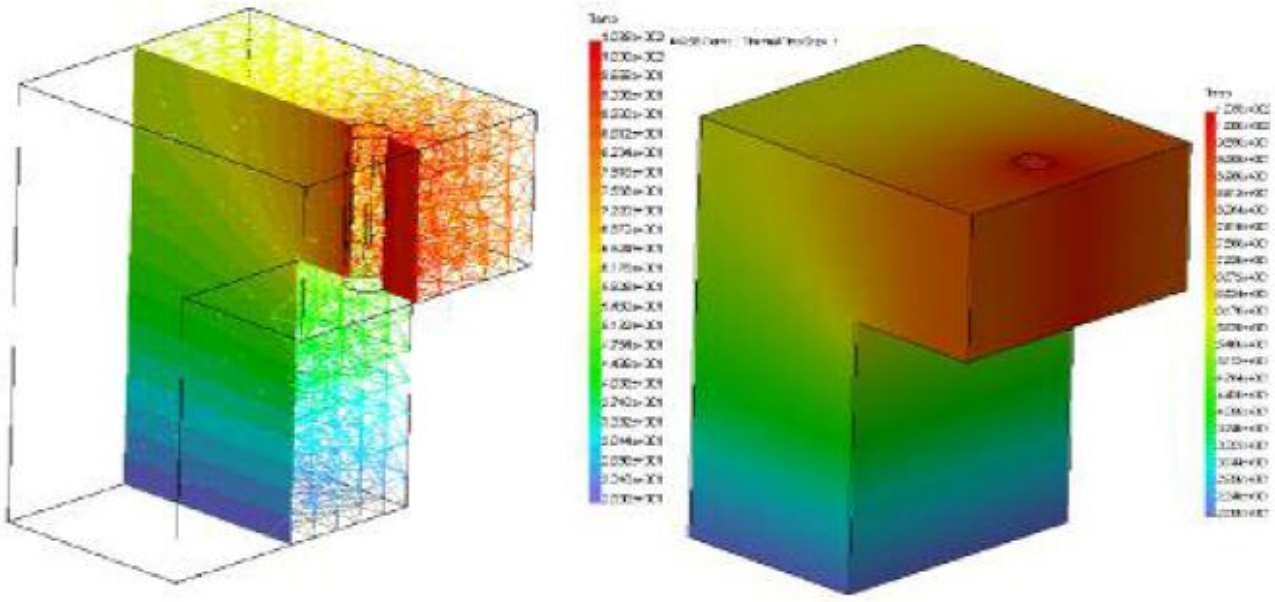


Рисунок 5.4 - Распределение температур в градусах Цельсия

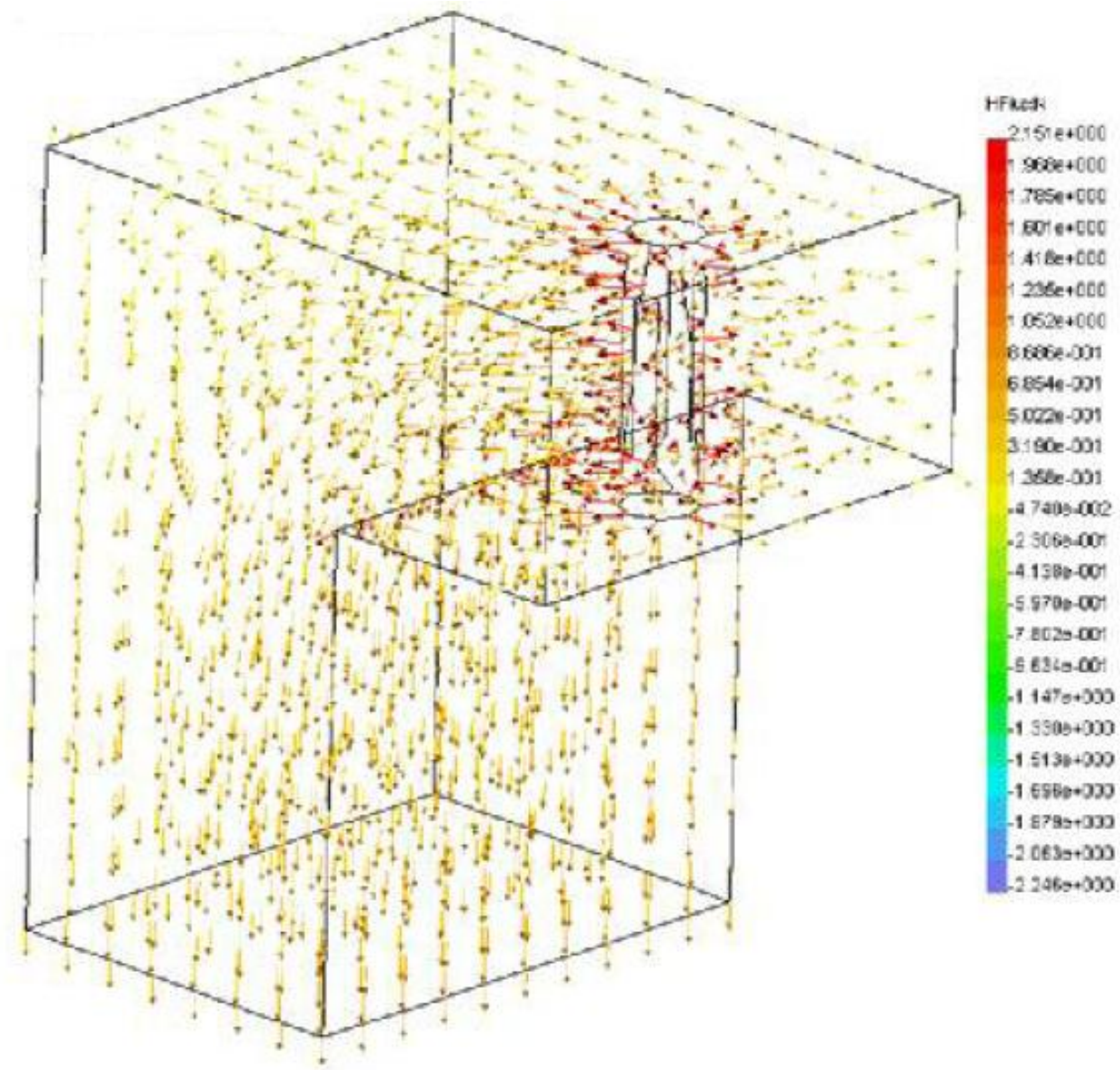


Рисунок 5.5 - Градиент (направления распределения) температур

Для определения деформаций модели станины в программе возможно использование модуля Direct Sparse. В отличие от стандартного решающего модуля «FFE» и более оптимизированного FFEPlus, этот модуль использует свойства направлений, учитывает так называемое инерционное уменьшение.

На рисунке 4.6 представлен результат расчета расчет с помощью модуля FFEPlus. Здесь хорошо виден исходный контур. Изменение формы хорошо соотносится с натурными экспериментальными данными. Данные указаны в мм. Масштабный коэффициент равен 216. Максимальная тепловая деформация данной модели составляет 0,07мм.

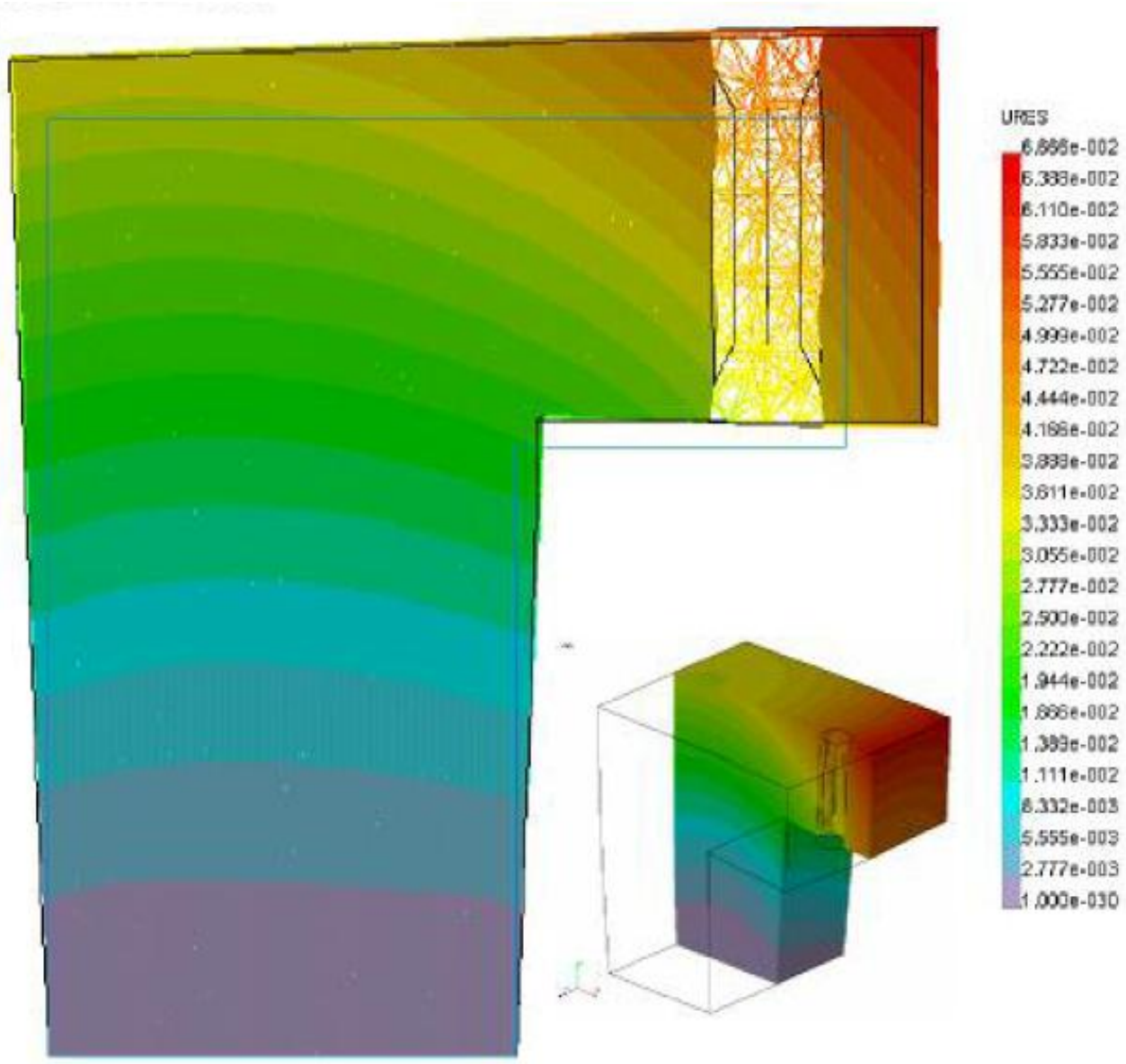


Рисунок 5.6 - Результат расчета с помощью модуля FFEPlus

5.1.1 Методы компенсации тепловых деформаций

Вообще говоря, для точности обработки страшна не сама температура, а неравномерность ее распределения и долгая его стабилизация во времени. Мы будем считать, что тепловой режим достиг стационарного значения и поэтому решается стационарная задача.

Самый очевидный способ компенсации тепловых деформаций - отбирать больше тепла, чем оно выделяется, тем самым не давая образовываться той разнице температур, из-за которой возникает температурное расширение.

Исходя из этого предположения требуется так разместить теплоотъемные устройства, что бы они максимально эффективно справлялись со своими задачами. Самым закономерным способом добиться этого - это разместить охлаждающие трубки максимально близко к источнику тепловыделения. Для первого эксперимента разместим трубки параллельно отверстию для пиноли вдоль верхней кромки модели. Температуру каждой охлаждающей трубки назначим в 20º С.

Параллельно расположенные охлаждающие трубки

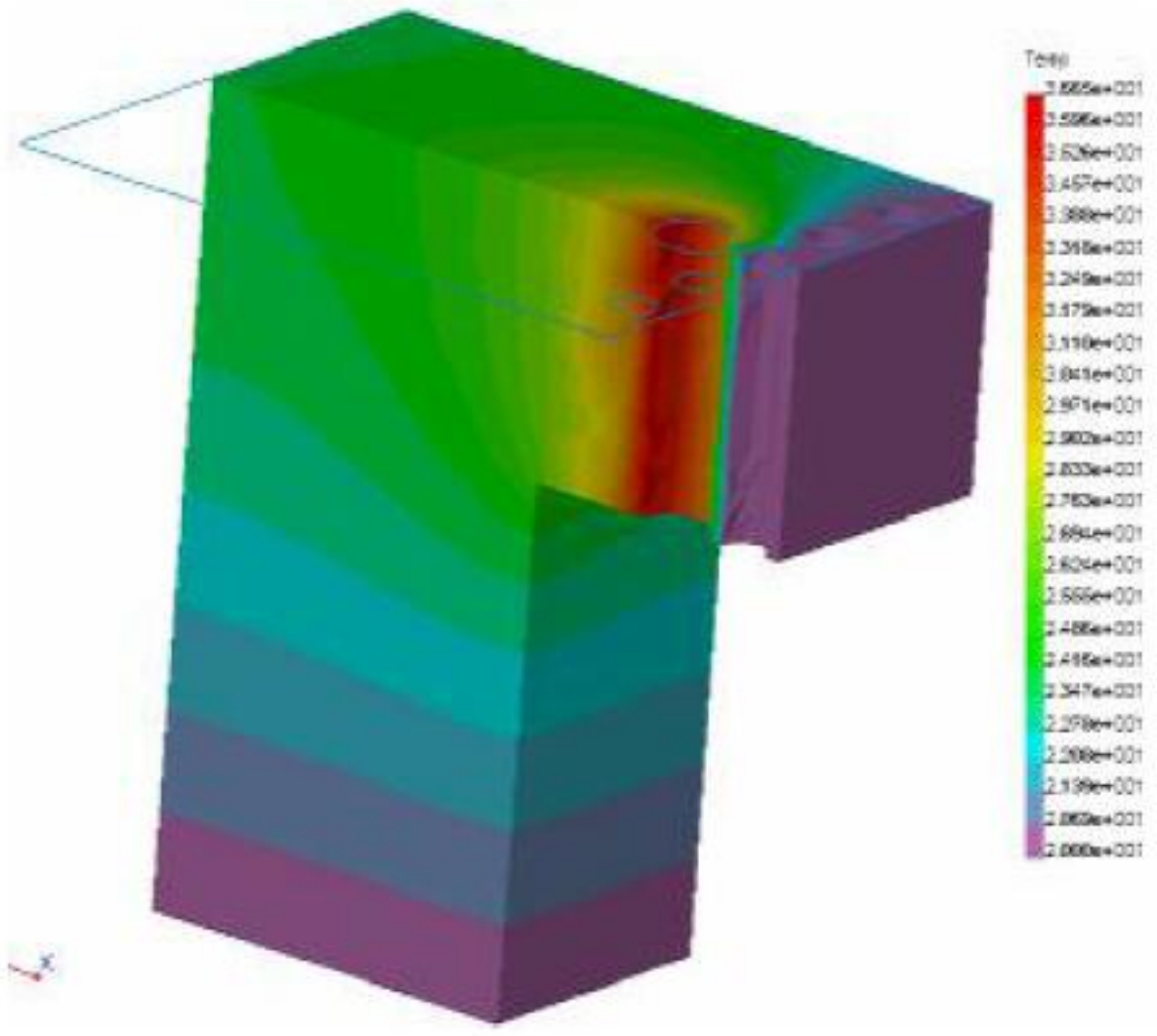


Рисунок 5.7 - Распределение температур в модели станины с наличием в ней охлаждающих трубок

В результате такого одностороннего охлаждения виден резкий перепад деформаций конструкции.

Наблюдается резкий перекос отверстия для ШУ, что, несомненно, плохо скажется на точности обработки.

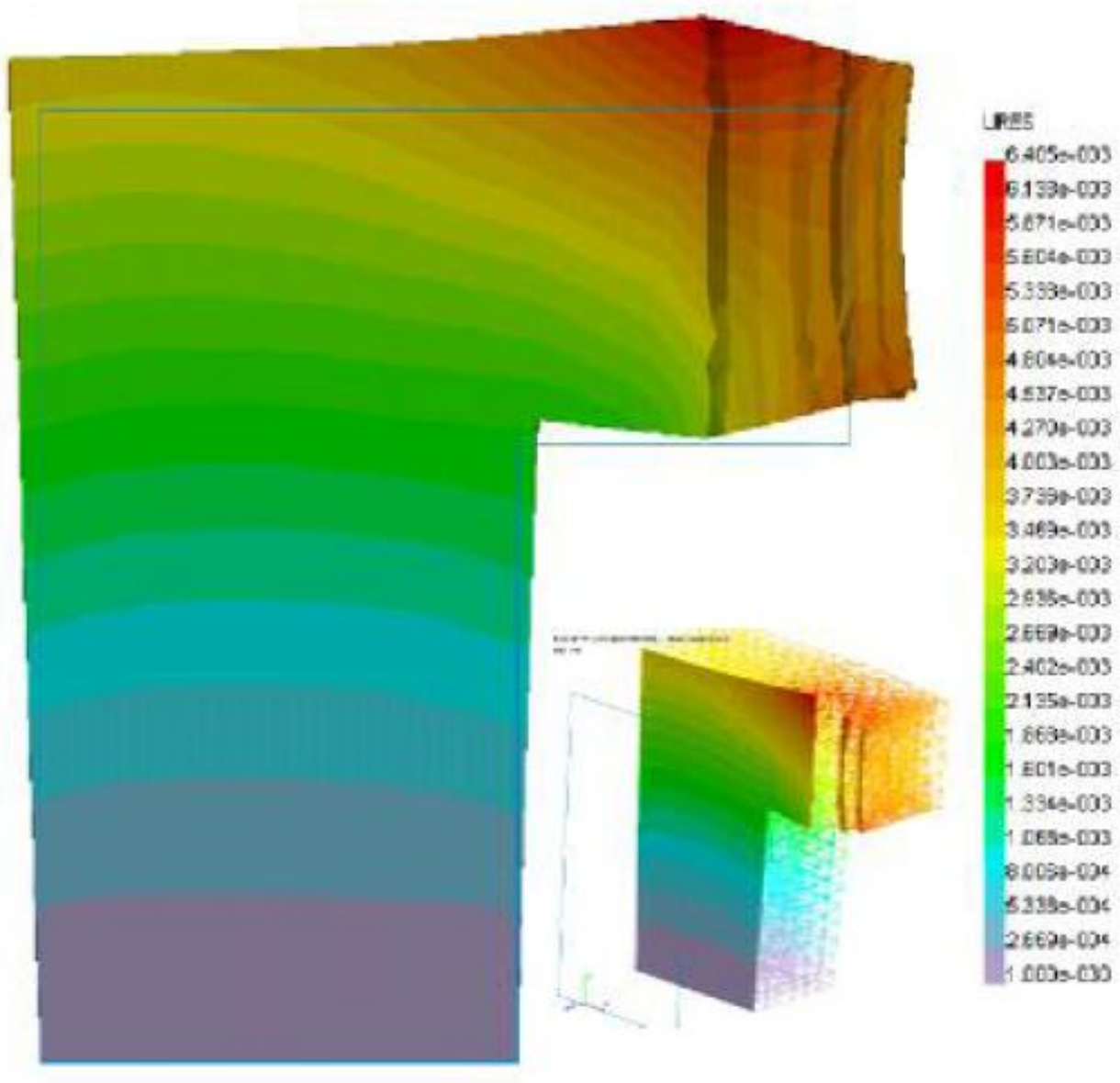


Рисунок 5.8 - Тепловые деформации модели с использованием охлаждения. Контуром выделено первоначальное положение

Расположение охлаждающих трубок вокруг источника

Для абсолютного и полного уноса тепла от источника разместим охлаждающие элементы максимально близко и выберем их количество наибольшим, исходя из соображения конструктивной возможности и целесообразности.

Из рисунка 5.9 видно, что все выделяемое тепло сразу же поглащается охлаждающими элементами

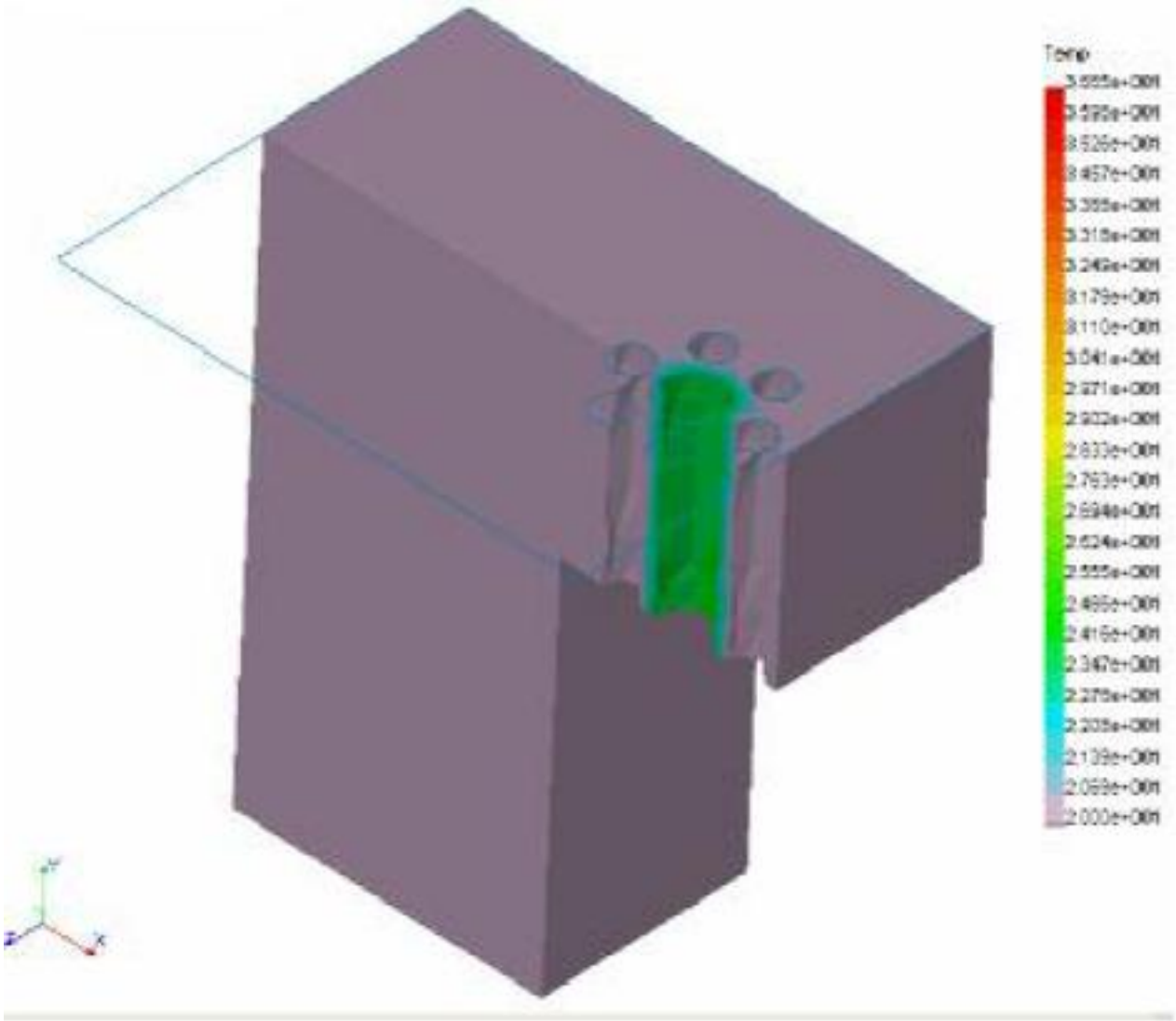


Рисунок 5.9 - Распределение поля температур по модели при максимально близком охлаждении источника

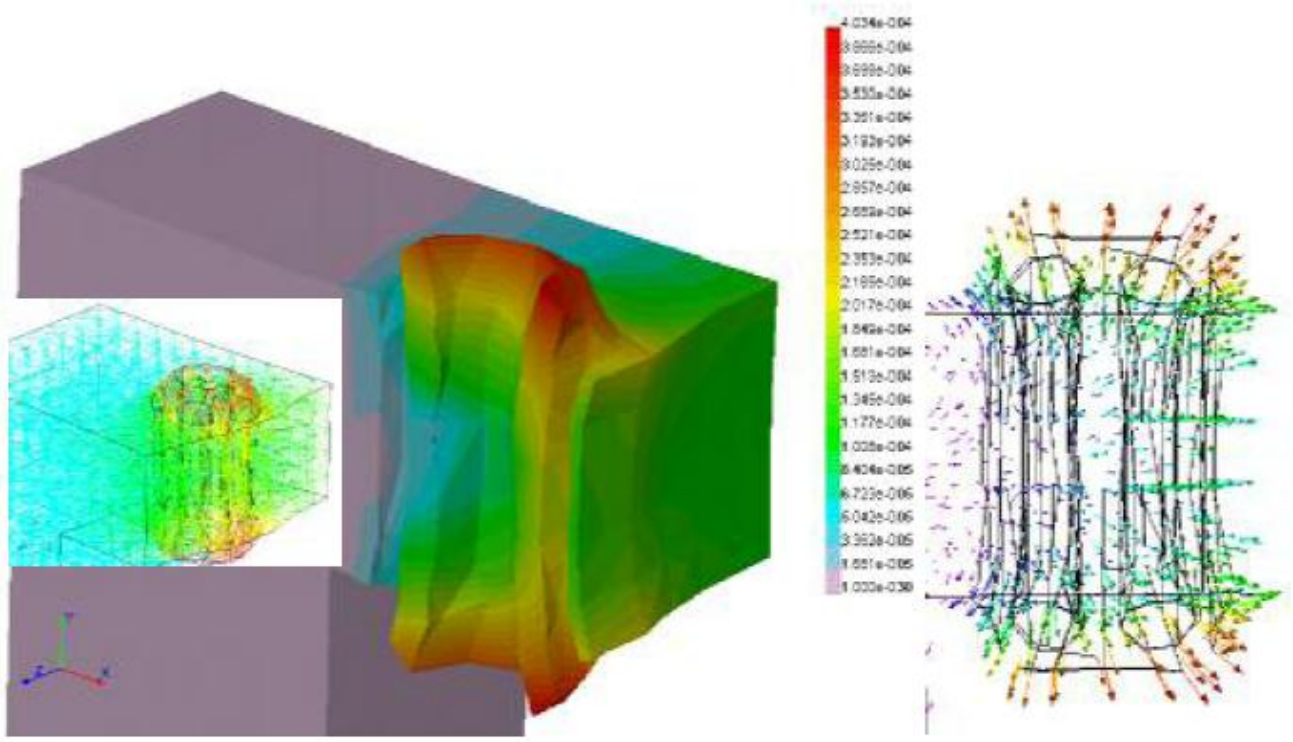


Рисунок 5.10 - Поле термических деформаций при расположении охлаждающих трубок вокруг источника

Из рисунка 5.10 хорошо видно, что очень близкое приближение охлаждающих элементов к источнику тепла ведет к резкому градиенту температур на очень небольшом расстоянии, что ведет к очень большим деформациям. В данном случае, только благодаря симметричности деформации не изменили угол наклона оси отверстия ШУ.

5.2 Расчет и проектирование шпиндельной коробки

Данная методика позволяет рассчитать существующую модель шпиндельной бабки. Причем рассчитываться будет та часть, в которую входит пиноль, а именно корпус шпиндельной бабки. Создается сетка исходя из критериев временного расчета задачи.

Время создания конечных линейных элементов – 1 минута 40 с.

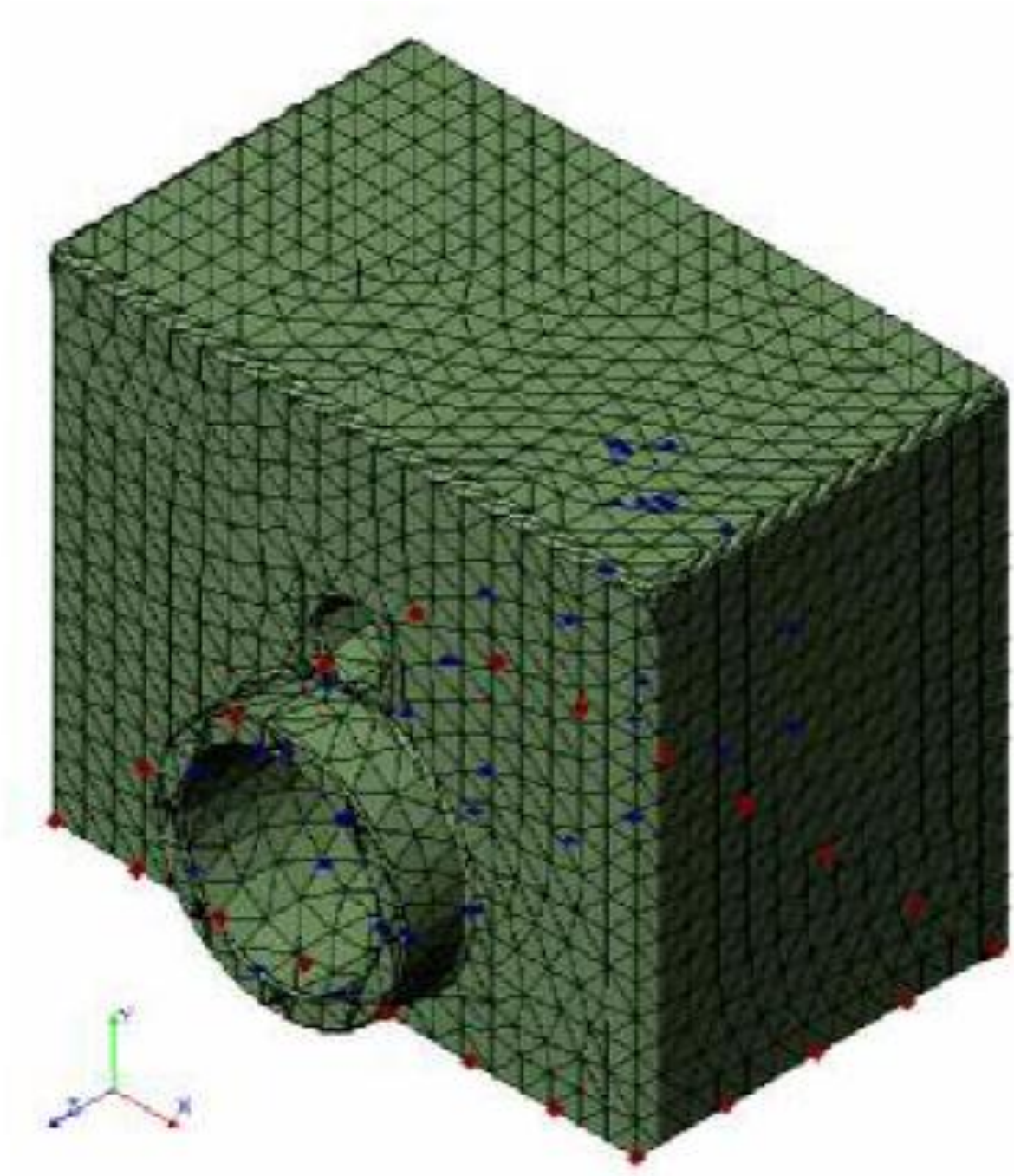


Рисунок 5.11 - Сетка конечных элементов с граничными условиями

Параметры созданной конечно-элементной сетки: тип элемента – линейный тетраэдр, размер элемента – 27 мм, число узлов в модели – 5108, число элементов – 12638.

Основное тепло выделяется в подшипниках шпиндельного узла. Поэтому основной источник выделения тепла находится в отверстии для пиноли и в месте подшипника ходового винта. Мощность выделяемого тепла для расчетов

выбирается как 500 Вт для каждой из опорных плоскостей пиноли. Мощность для отверстия, где расположен подшипник ходового винта, определена в 20 Вт. Время расчета стационарной задачи теплопроводности - 12 с.

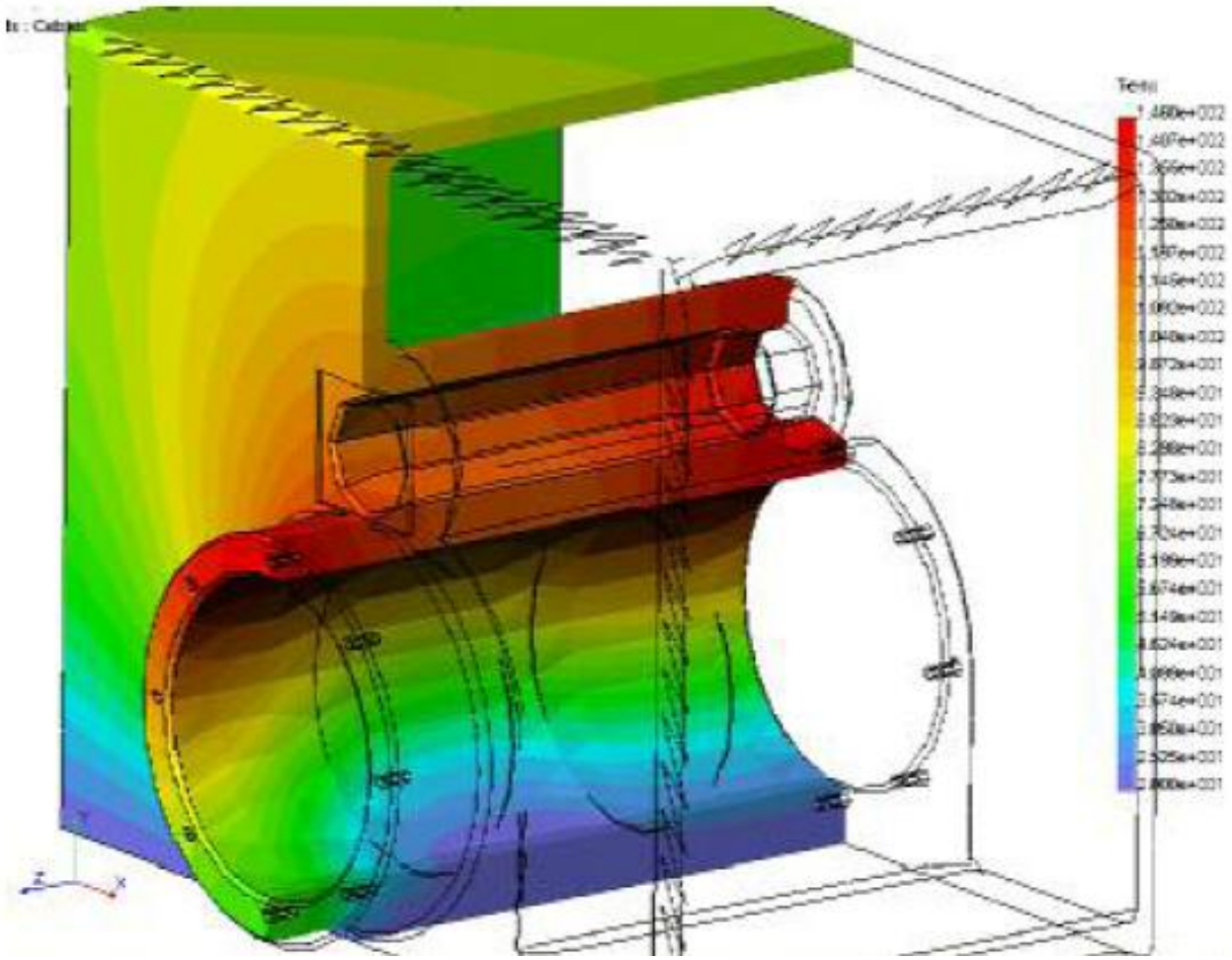


Рисунок 5.12 - Градационное распределение поля температур

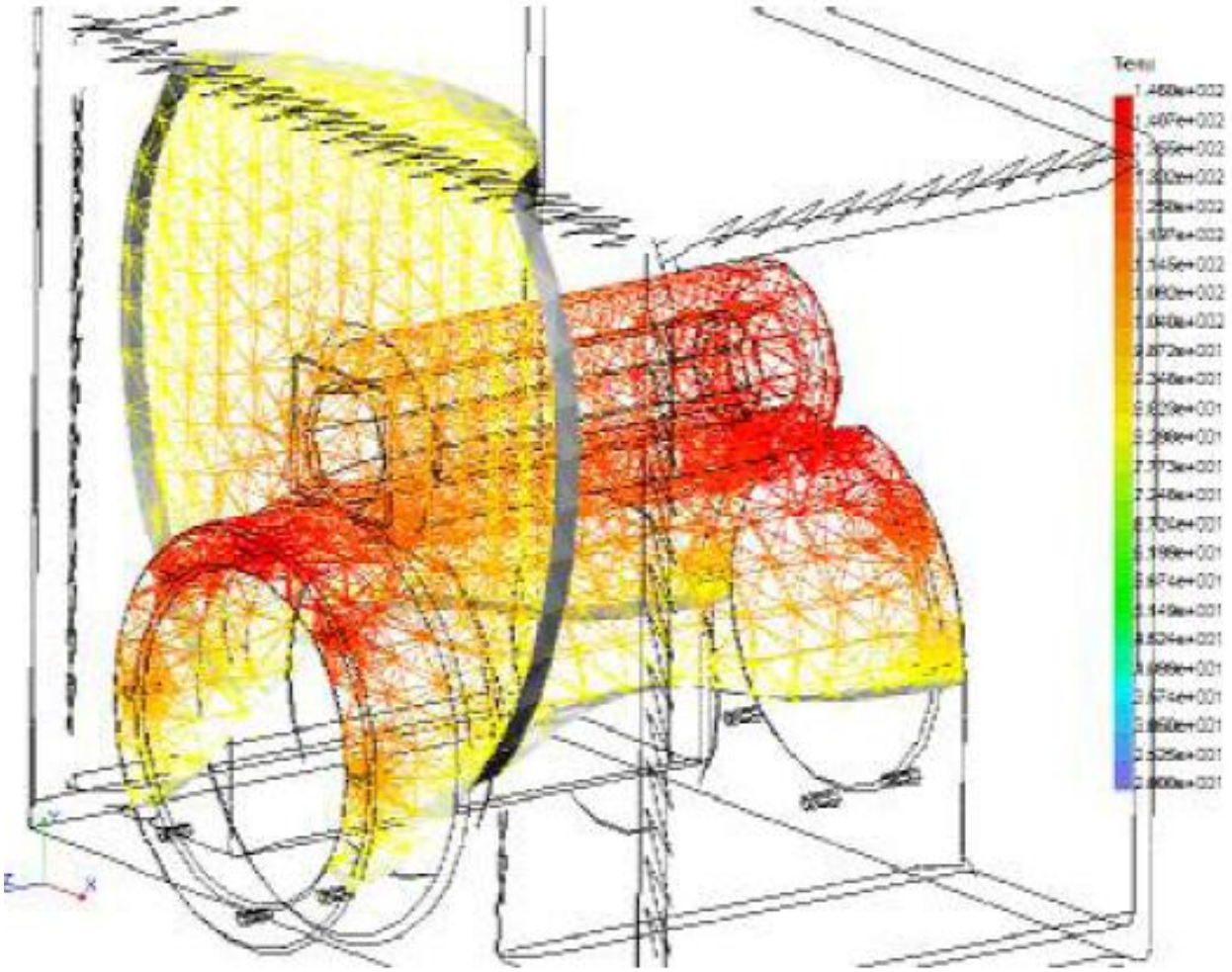


Рисунок 5.13 - Распределение температур в корпусе шпиндельной бабки. Максимальное значение температуры - 146°С

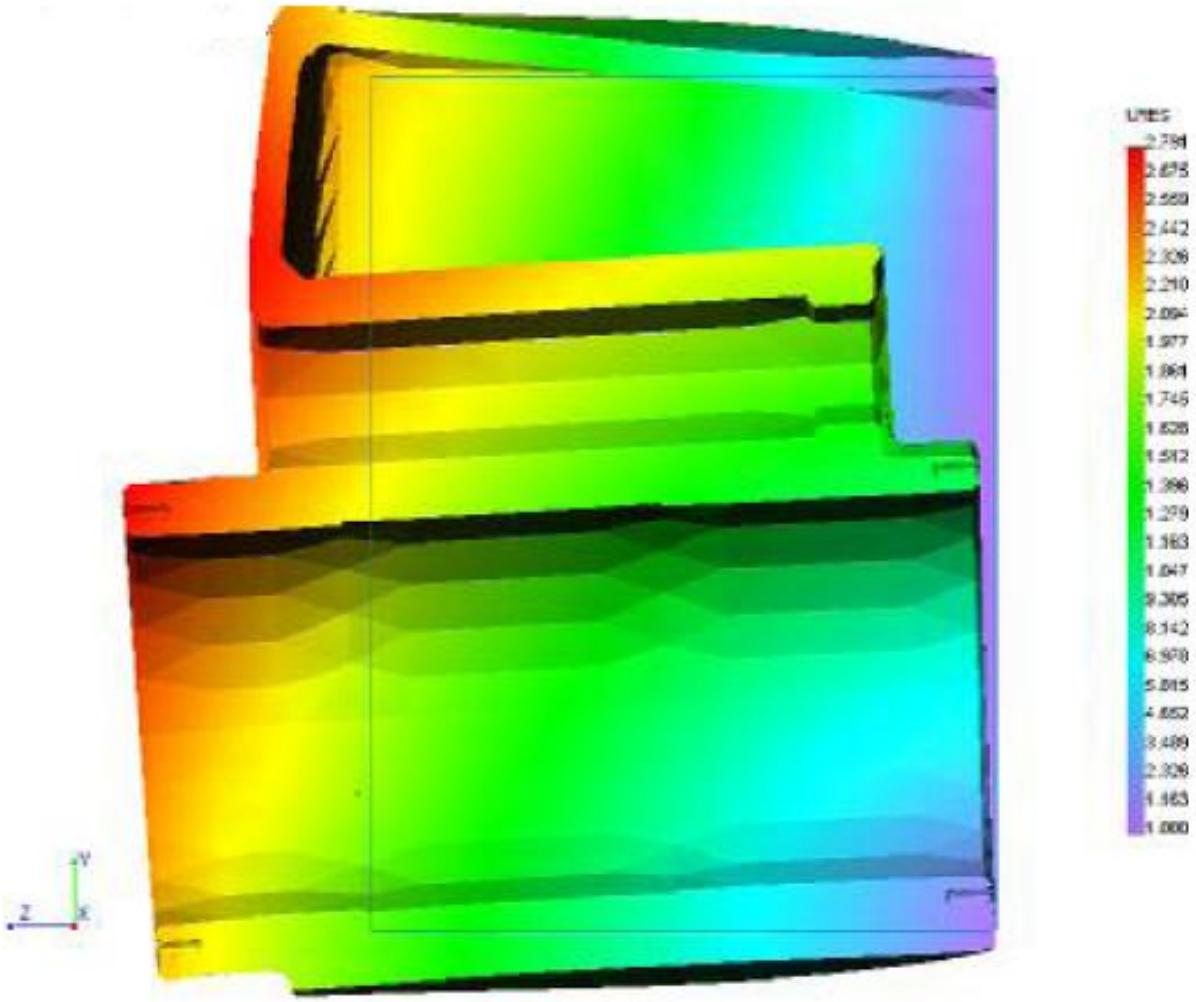


Рисунок 5.14 - Поле термических деформаций

Из рисунка 5.14 очевидно деформационное движение и перекос оси отверстия для пиноли и ходового винта. Здесь контуром показано первоначальное положение внутренней стенки корпуса. Масштабный коэффициент – 19. Максимальная деформация – 2,79 мм. Тепловая деформация шпиндельной коробки до модернизации составляла 3,9 мм.

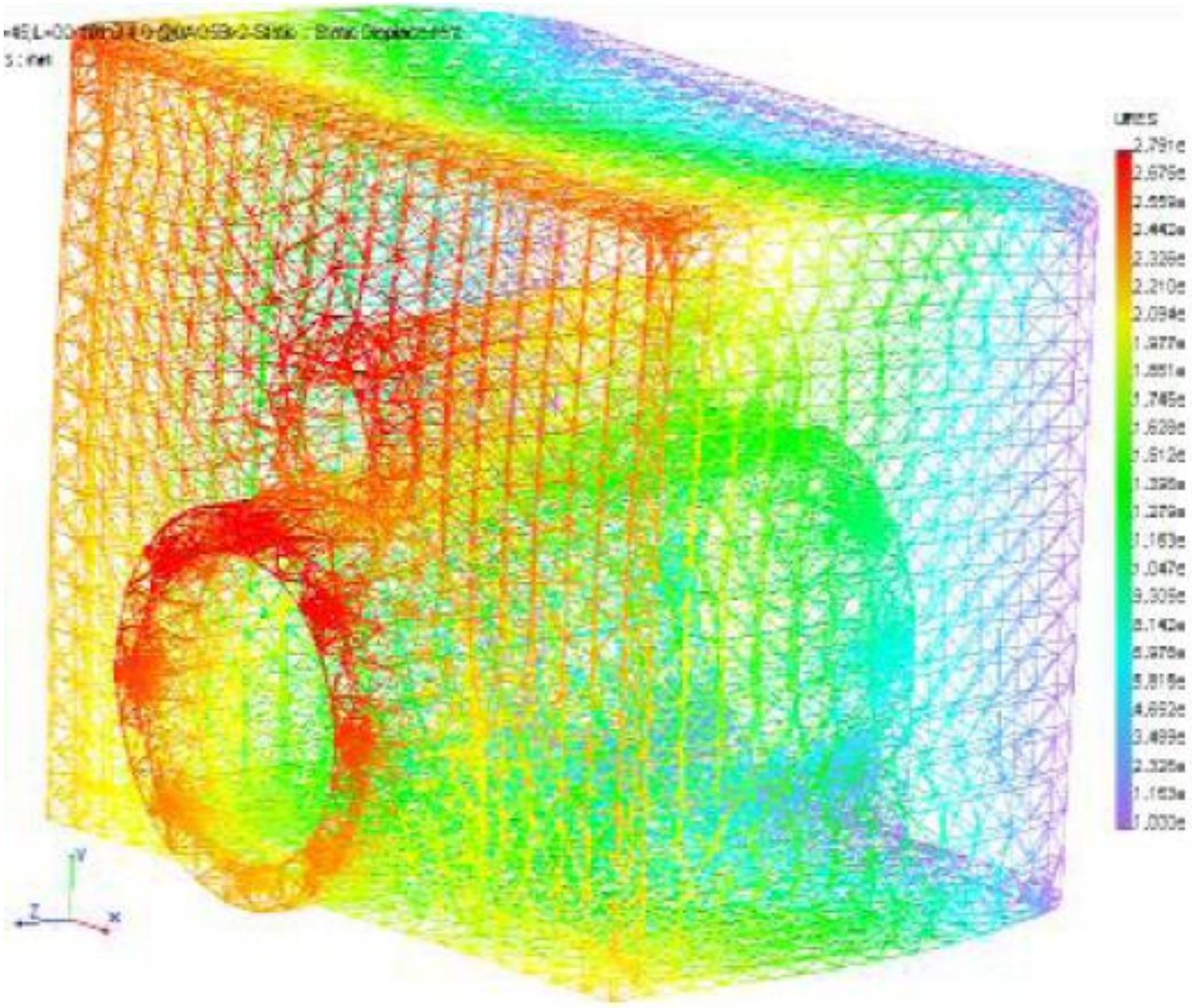


Рисунок 5.15 - Величина тепловых деформаций в виде конечных элементов

5.3 Расчет шпиндельного узла

5.3.1 Постановка задачи

В связи с тем, что имеется возможность расчета, как температурных полей, так и напряжений от силового воздействия, то становится возможным оценить влияние на прогиб переднего конца шпинделя тепловых деформаций от подшипников.

В первом эксперименте будет установлен прогиб от воздействия силовых факторов. Будет учтен опыт прошлых экспериментов в выборе параметров и видов конечных элементов.

5.3.2 Расчет статического прогиба ШУ без учета тепловых деформаций

На шпиндельный узел воздействуют две силы. Одна – радиальная, распределена по поверхности конуса. Для более наглядного результата принимаются самые тяжелые нагрузочные условия.

Радиальная сила принимается равной 50000 Н.

Шпиндель расположен на трех опорах. В передней опоре, как самой нагруженной расположены сдвоенные подшипники. Эта опора закреплена как в радиальном, так и осевом направлении. В средней опоре расположен один подшипник. Эта опора тоже закреплена в радиальном и осевом направлении. Задний подшипник закреплен только в радиальном направлении.

Рисунок 5.16 - КЭМ шпиндельного узла с нагрузкой и граничными условиями

Из рисунка 5.17 видно, что максимальные напряжения возникают в передней опоре.

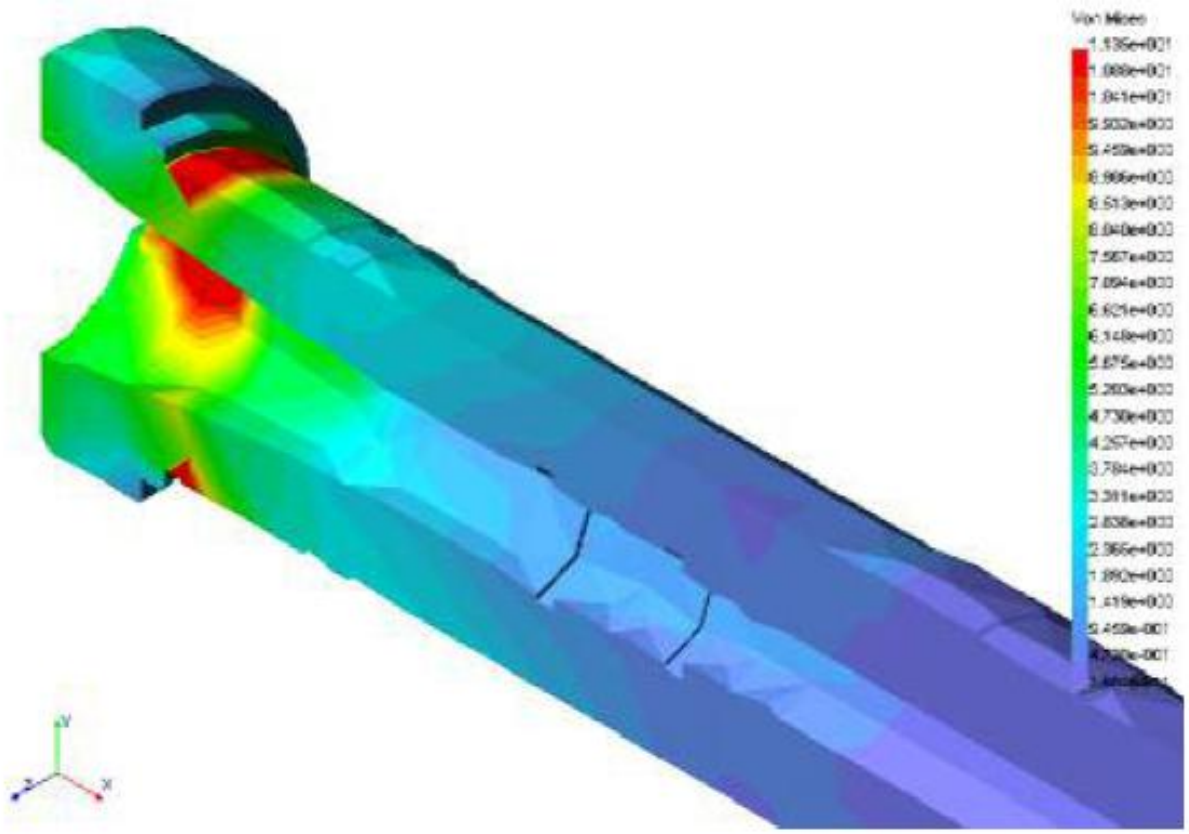


Рисунок 5.17 - Картина эквивалентных напряжений

Максимальное эквивалентное напряжение 11 МПа. На рисунке 4.18 показана картина деформаций шпиндельного узла, увеличенная в 1000 раз, без учета теплового воздействия. Суммарное максимальное перемещение не превышало 8 мкм.

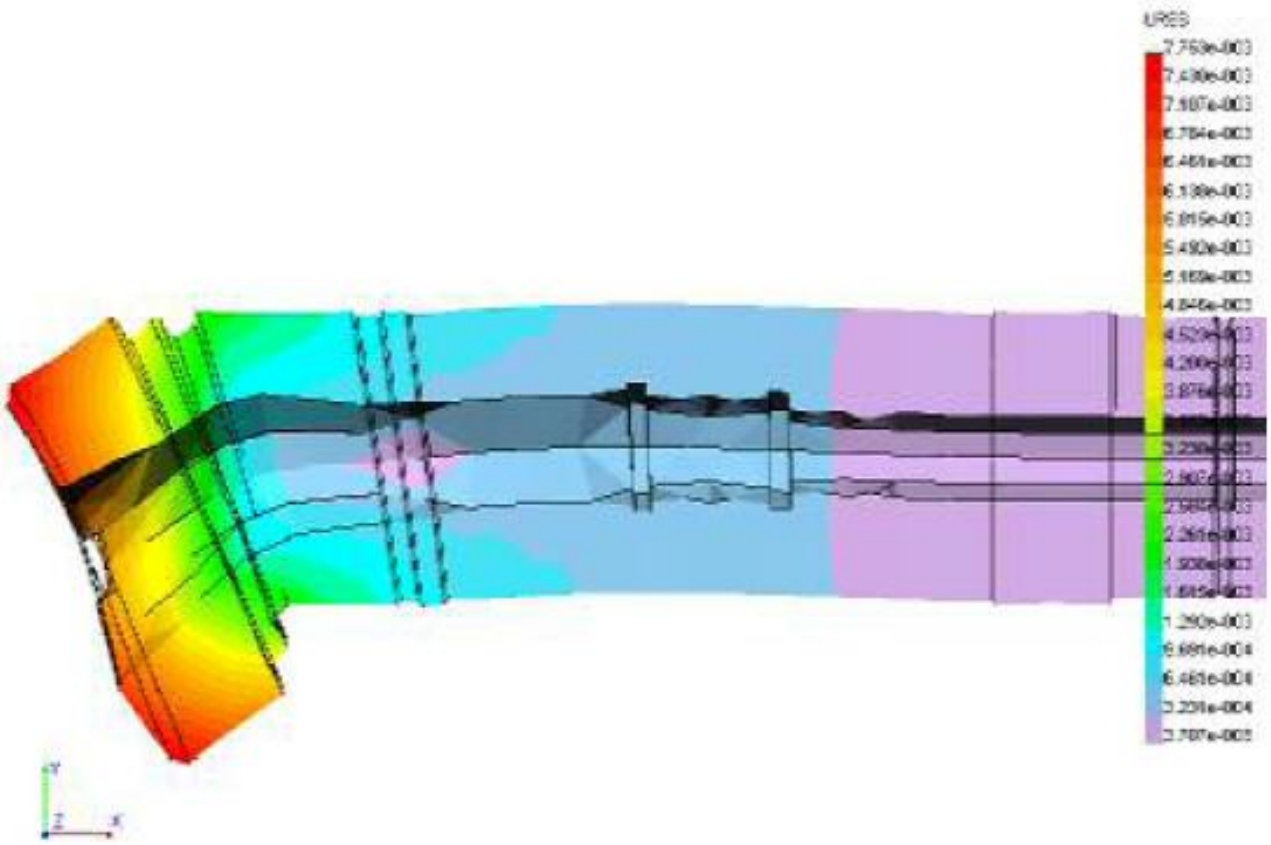


Рисунок 5.18 - Деформация шпиндельного узла без теплового воздействия

5.3.3 Влияние теплового воздействия на деформацию шпиндельного узла

Основным источником тепла будут являться подшипниковые шейки шпинделя, т.к. именно через них будет уходить тепло в шпиндель от подшипников. Для решения задачи теплопроводности зададимся следующими условиями:

Тепловая нагрузка в передней опоре: 5 Вт

Тепловая нагрузка в средней опоре: 3 Вт

Тепловая нагрузка в последней опоре: 2 Вт

Граничные условия заданы исходя из того, что передний и задний торец шпинделя имеют нормальную температуру в 20º. Такие условия заданы исключительно из-за упрощения задачи и уменьшения времени счета программы. И поэтому полученные результаты будут рассматриваться как предварительные для анализа ситуации.

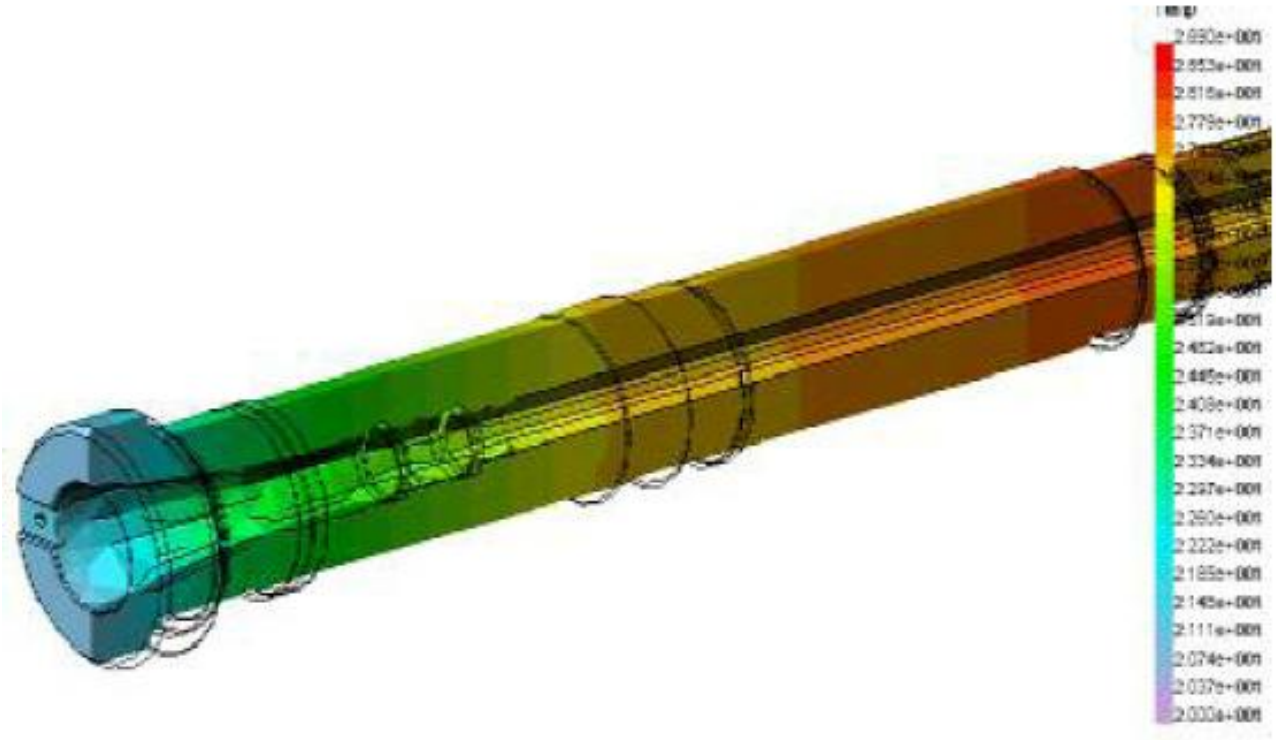


Рисунок 5.19 - Распределение температур по телу модули шпинделя

Как и ожидалось, основное изменение размера шпинделя происходит в осевом направлении. В вертикальном направлении самый крайний конец шпинделя переместился на величину в 0,2 мм.

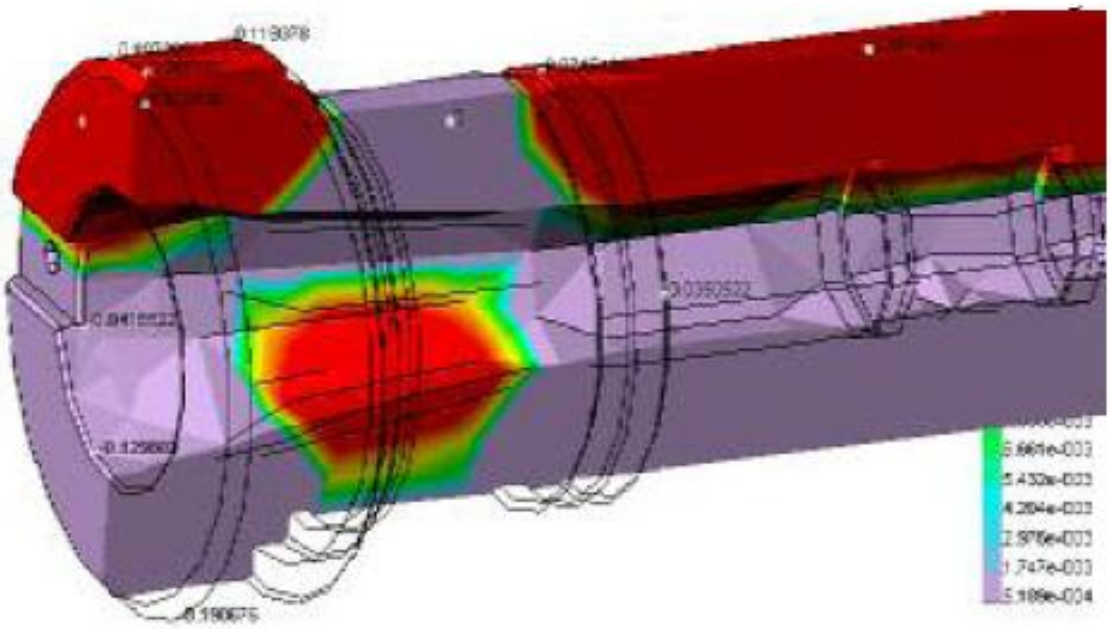


Рисунок 5.20 - Диаграмма распределения тепловых деформаций

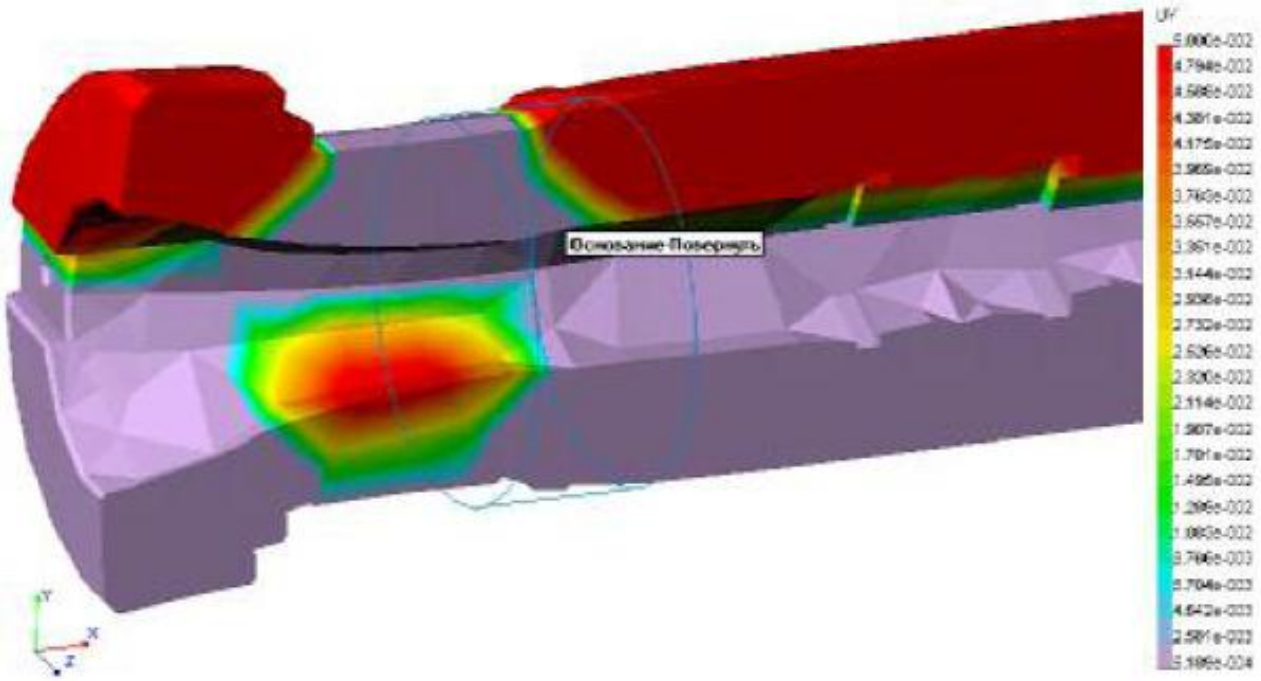


Рисунок 5.21 - Диаграмма распределения тепловых деформаций по оси Y. Контуром выделено положение посадочного места под подшипники. Масштабный коэффициент – 38

Сравнивая деформации от теплового и силового воздействий, можно сказать, что тепловые деформации влияют на прогиб шпинделя и довольно существенно. Полученный максимальный прогиб шпинделя от силы составляет 8 мкм, тогда как только изменение верхней (нижней) точки переднего конца шпинделя составляет 0,2 мм или 200 мкм. Если учитывать, что проведенные расчеты носили лишь предварительный вид, и, исходя из экспериментов с балкой, могут иметь ошибку при правильно назначенных граничных условиях в 30%. К сожалению, для более подробного и точного использования твердотельного моделирования необходимо более серьезное оборудование. Это - машина класса рабочих станций и более совершенные пакеты расчета – специализированные.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения диссертационного исследования проведены следующие основные работы:

1. Разработана конструкция шпиндельного узла, в которой механизм поперечной подачи шпинделя и автоматического крепления инструмента совмещены в шпиндельной коробке.

2. Создана твердотельная модель шпиндельной бабки станка.

3. Выполнено исследование влияния типа и размера конечно-элементной сетки на точность расчета.

4. Выполнен расчет поля распределения температур шпинделя, станины и шпиндельной коробки с использованием метода конечных элементов.

5. Выявлена возможность использования тепловых труб в качестве средства управления жесткостью шпиндельного узла.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем [Текст] / Под ред. А. С. Проникова М: Машиностроение, т 1, 1994, 443с; т.2 1995, 367с.

2. Металлорежущие станки [Текст]/ Под ред. В. Э. Пуш М: Машиностроение, 1986, 574с.

3. Грановский, Г. И. Грановский, В. Г. Резание металлов., М: Высшая школа, 1985, 303с.

4. Фигатнер, А. М. Прецизионные подшипники качения современных металлорежущих станков [Текст], М: НИИМАШ, 1980, 72с.

5. Лизогуб, В. А. Конструирование и расчет шпиндельных узлов, направляющих и механизмов металлорежущих станков [Текст], М: Изд-во ВЗМИ, 1985, 85с.

6. Справочник технолога-машиностроителя [Текст]/Под ред. Косиловой А. Г., Мещерякова Р. К. М: Машиностроение, 1985, т. 1.655с, т.2.495с.

7. Чернянский, П. М. Динамика станков в книге Металлорежущие станки и автоматы [Текст]/под ред. Проникова А. С. М: Машиностроение, 1981, с. 144-183.

8. Чернянский, П. М. Жесткость металлорежущих станков [Текст]. М: МВТУ, 1969, 80с.

9. Колев, К. С., Горчаков, Л. М. Точность обработки и режимы резания [Текст]. М: Машиностроение, 1976, 144с.

10.Чернянский, П. М. Расчет шпиндельных узлов [Текст]. М: МВТУ, 1976, 24с.

11.Режимы резания металлов [Текст]. Справочник /под ред. Ю. В. Барановского. М: Машиностроение, 1972, 407с.

12.Расчет и конструирование шпиндельных узлов с подшипниками качения металлорежущих станков [Текст]. НИИМАШ, 1971, 193с.

13.Подшипниковые узлы современных машин и приборов [Текст]. М: Машиностроение, 1977, 639с.

14.Расчетный анализ деформационных, динамических и температурных характеристик шпиндельных узлов при проектировании [Текст]. МЭНИМС, 1989, 63с.

15.Перель В. Я. Филатов А. А. Подшипники качения: расчет, проектирование и обслуживание опор [Текст]. М: Машиностроение, 1992, 608с.

16.Подшипники качения [Текст]/ Под ред. Н. А. Спицына и А. И. Спришевского. М: Машгиз, 1961, 828с.

17.Фигатнер, А. М. Шпиндельные узлы современных металлорежущих станков [Текст]. М: НИИМАШ, 1983, 59с.

18.Конструкция, расчет и методы проверки шпиндельных узлов с опорами качения. Методические указания [Текст]. М: ОНТИ ЭНИМС, 1970, 152с.

19.Грановский, Г. Я., Грудов, П. П., Кривоухов, В. А. и др. Резание металлов [Текст]/ Под ред. В. А Кривоухова, М: Машиностроение, 1954, 406с.

20.Резников, А. Н. Теплофизика резания [Текст]. М: Машиностроение, 1969, 256с.

21.Даниелян, А. М. Теплота и износ инструментов в процессе резания металлов [Текст] М: Машиностроение, 1954, 170с.

22.Соколов, Ю. Н. Расчет температурных полей и температурных деформаций металлорежущих станков [Текст] М: ЭНИМС, ЦБТИ, 1958, 67с.

23.Фейдман, Л. Г. Методика аналитического расчета температурных полей узлов и деталей металлорежущих станков [Текст]. Одесса: УкрНИИСИП, 1978, 173с.

24.Глухенький, А. И., Рава, Ж. С. Расчет температурных полей стенки и вала возникающих вследствие тепловыделений в подшипниках качения [Текст]//Динамика, прочность, контроль и управление. – Куйбышев, 1972. - С353-357.

25 Енджеевски, Е. Квасьны, В. Влияние тепловых изменений зазора в подшипниках качения на жесткость шпиндельных узлов [Текст]// Станки и инструмент, №4. 1977 С10-12.

26 Сата, Т. Анализ тепловой деформации металлорежущего станка и его применение [Текст]. 14th Manchester, 1974, Procekdinps... p275-280.

27 Квасьны, В. Страухальд, Ш. Расчет и анализ термических условий работы подшипниковых узлов с применением ЭВМ [Текст] //Mechanik, 1979, t.52. №5 s 241-244.

28 Енджеевски, Й. Пайонк, Я. Определение температурных полей в элементах конструкции металлорежущих станков [Текст]. //Werkzeugmaschine International, 1974 №2 5p. 62-68.

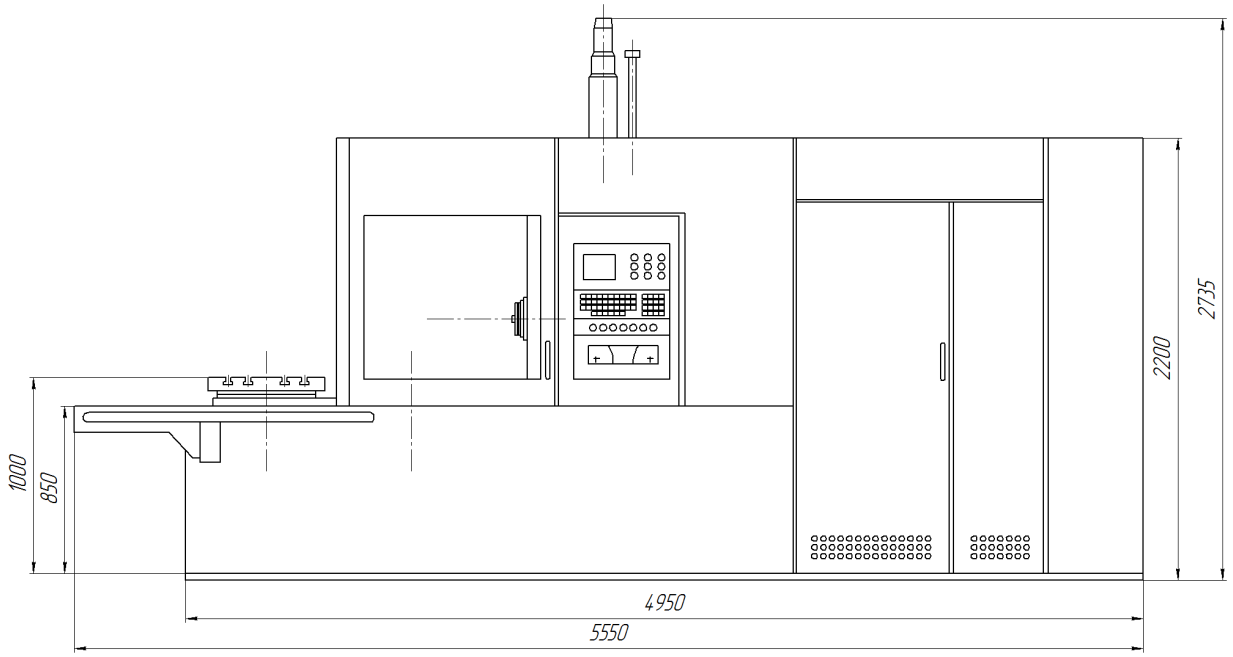
29 Pitroff, H. Смазка впрыскиванием подшипников шпиндельных узлов станков [Текст]// Maschineumarkt, 1967, №62

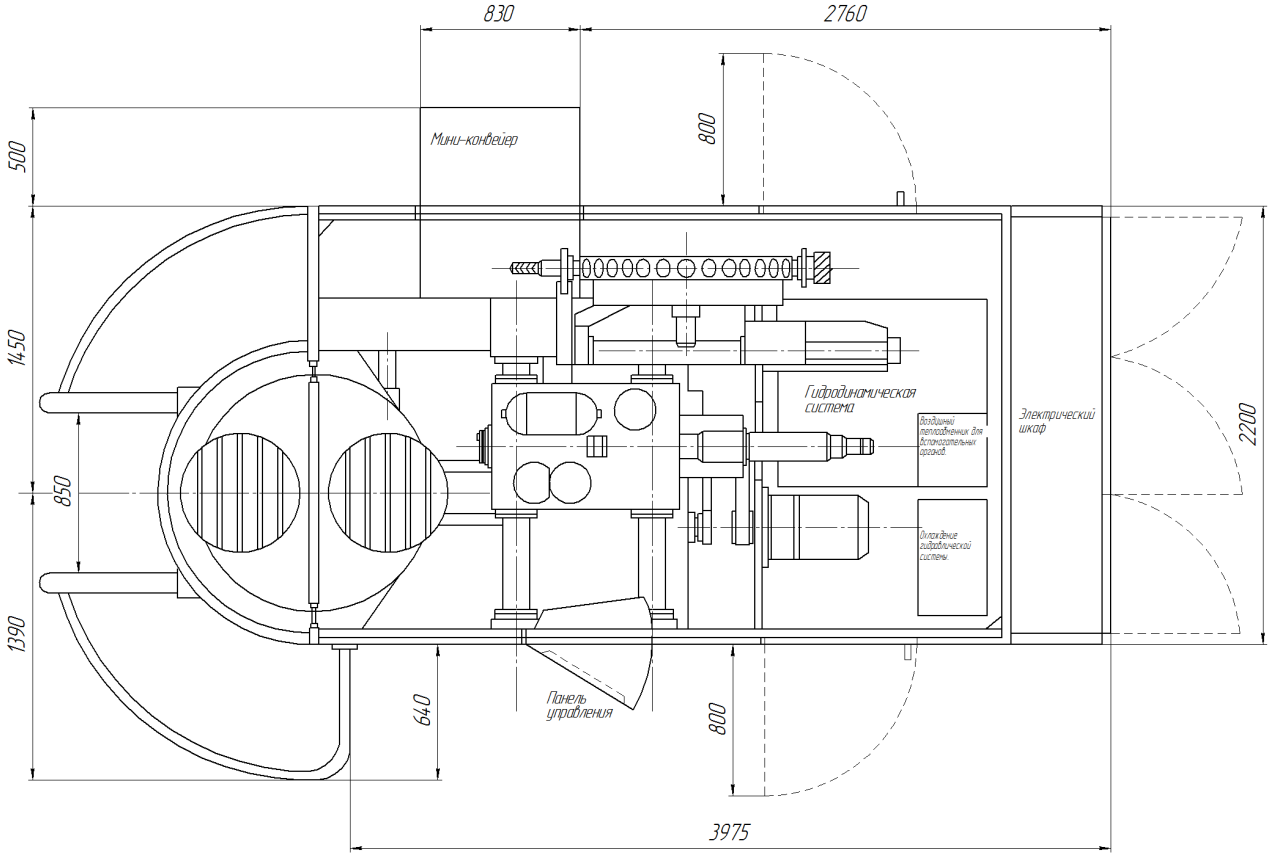
30 Детали и механизмы металлорежущих станков [Текст]/Под ред. Д. Н. Решетова т.2. М: Машиностроение, 1972, 519с.

31 Крагельский, И. В. Трение и износ. [Текст] М: Машиностроение, 1968, 479с.

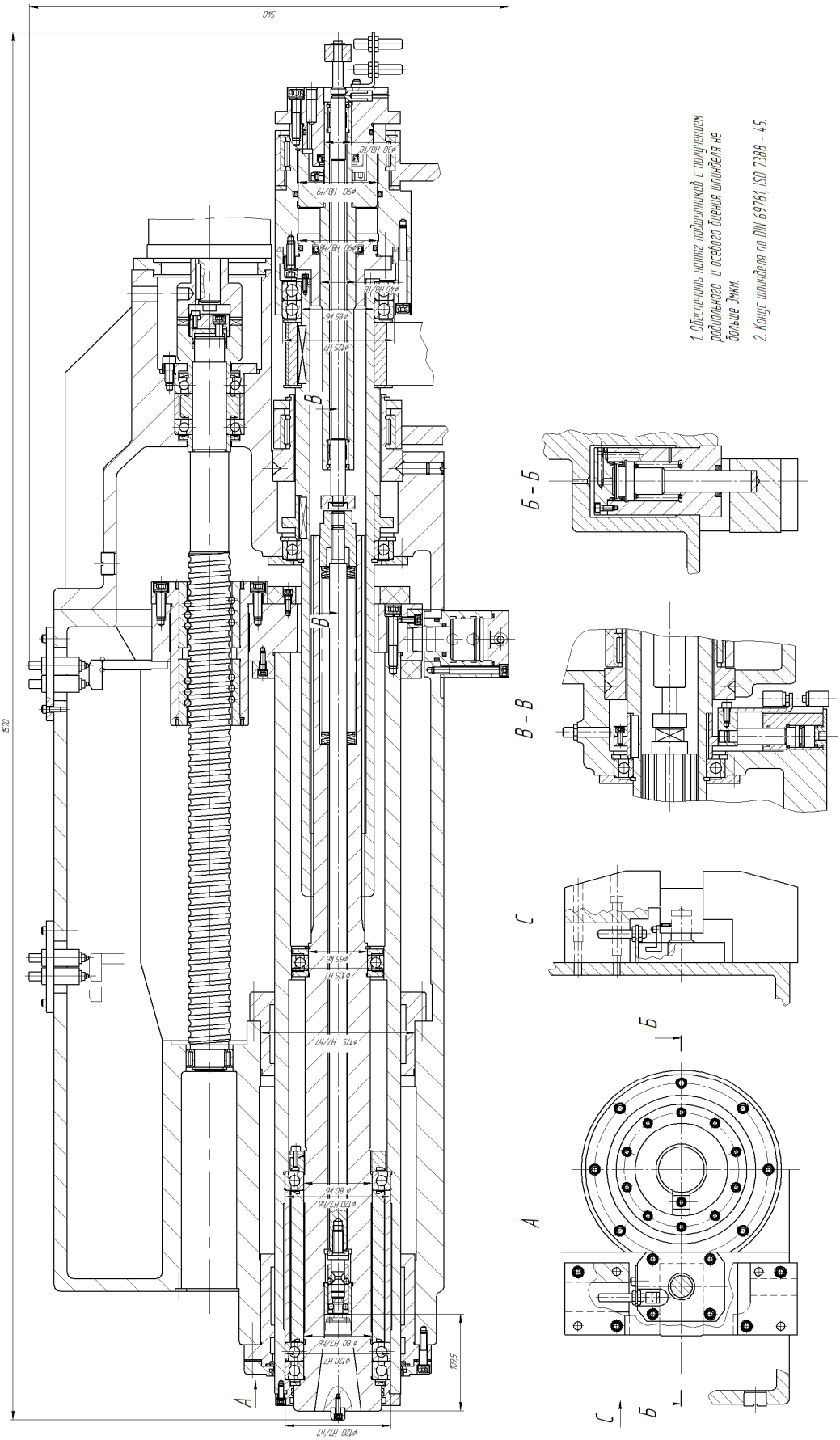
32 Бейзольман, Р. Л., Ципник Б. В., Перель Л. Я. Подшипники качения[Текст]. Справочник. М: Машиностроение, 1967, 343с.

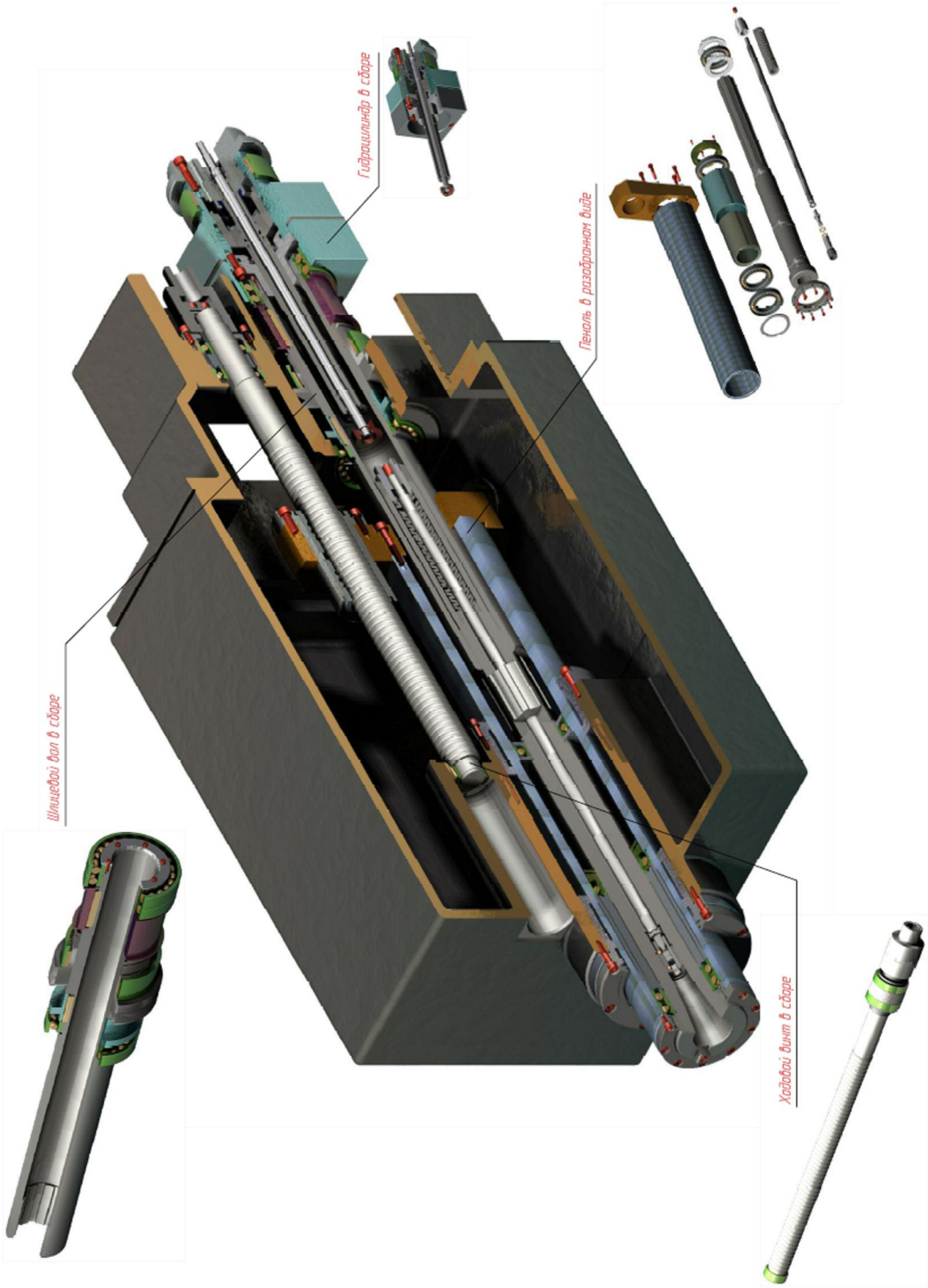
ПРИЛОЖЕНИЯ



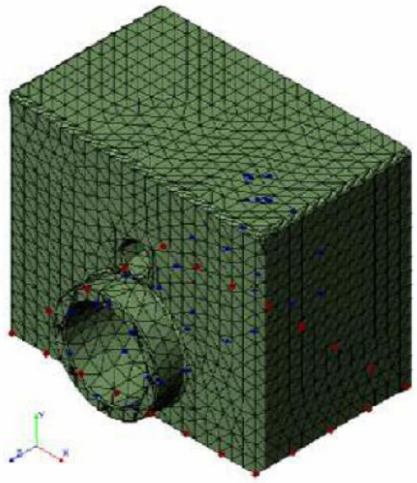


1. Величина рабочего хода вдоль осей X, Y и Z – 400, 350, 350 мм
2. Диапазон подач вдоль осей X, Y и Z – 1..10000 мм/мин
3. Ускоренная подача вдоль осей X, Y и Z – 25м/мин
4. Диапазон частот вращения шпинделя – 25...10000 мин $^{-1}$
5. Конус шпинделя (по DIN 69871 (ISO7388) – 45
6. Точность позиционирования по осям X, Y, Z – 0.0001 мм
7. Точность позиционирования по осям X, Y, Z – 0.001 мм
8. Мощность привода главного движения – 15кВт
9. Диаметр плоскости полеты 600 мм
10. Емкость барабана инструментов – 32 шт
11. Максимальный диаметр инструмента – 125 мм
12. Максимальный диаметр инструмента при свободных соседних ячейках – 175 мм
13. Максимальная длина инструмента – 300 мм
14. Габаритные размеры станка – 5550x2840x2735мм
15. Масса станка – 4640 кг


1. Обеспечить натяг подшипников с получением радиального и осевого биения шпинделя не больше 3мкм.
2. Конус шпинделя по DIN 69781, ISO 7388 - 45.
Б - Б
В - В
А
Б
В
С


Гидроцилиндр в сборе
Пеналь в разобранном виде
Шлицевой вал в сборе
Ходовой винт в сборе

Конечноэлементная модель шпиндельной коробки

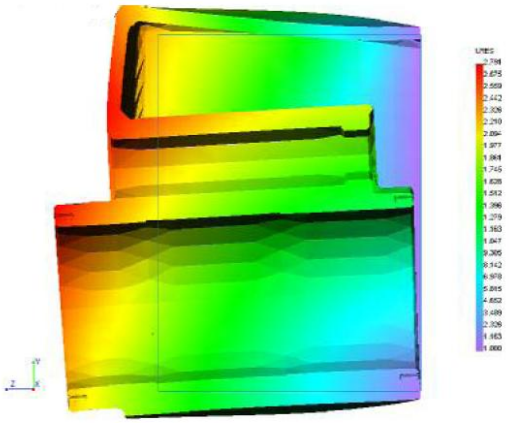


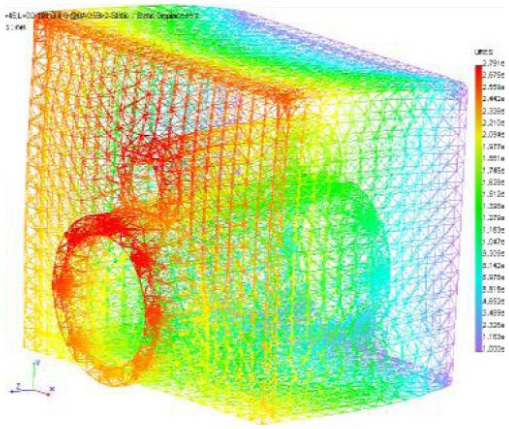
Вид сетки – рекомендуемая;

Тип элемента – линейный тетрайдер;

Число узлов – 5108 шт;

Поле термических деформаций

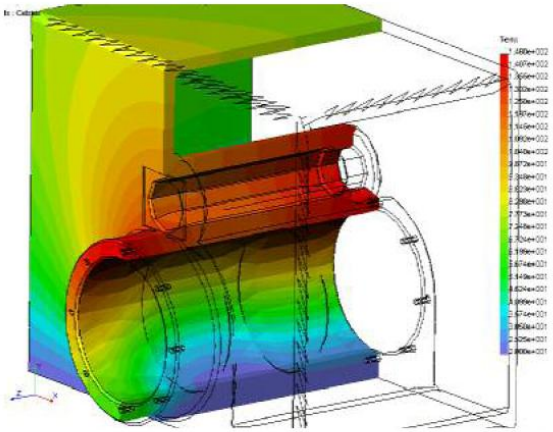


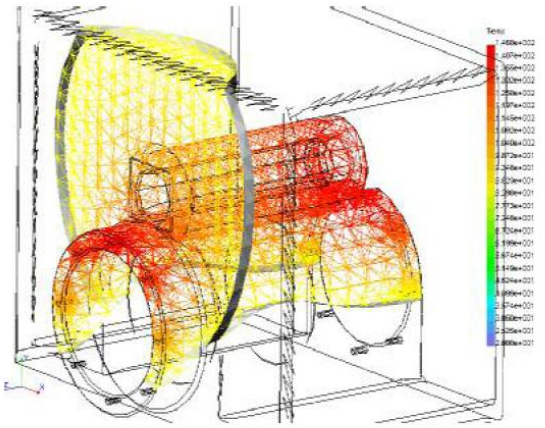


Масштабный коэффициент – 19;

Максимальная тепловая деформация – 2,79 мм;

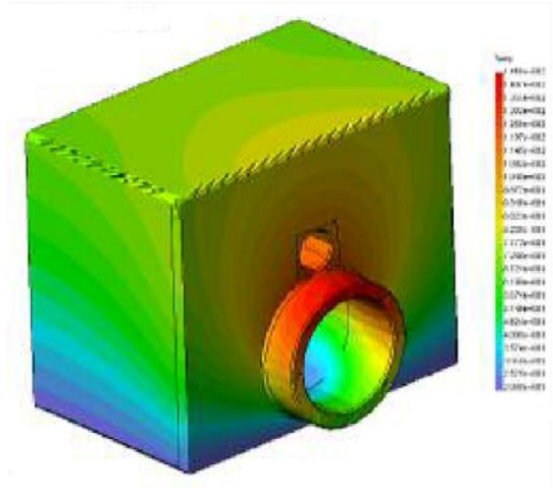
Градационное распределение поля температур

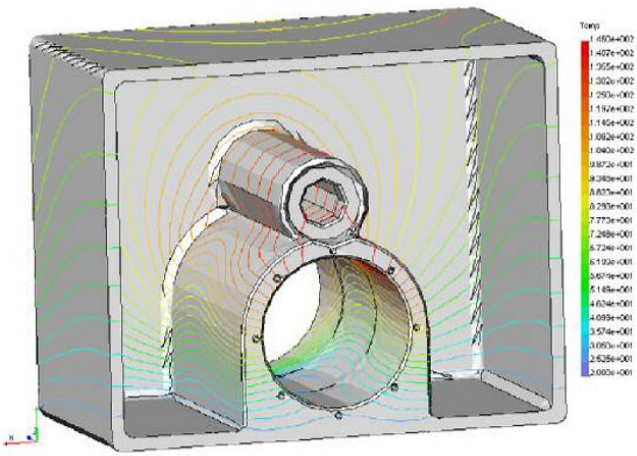




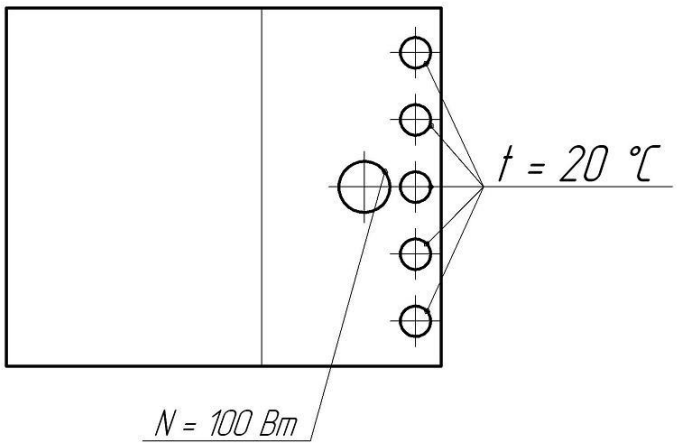
Максимальное значение температуры – 146 градусов

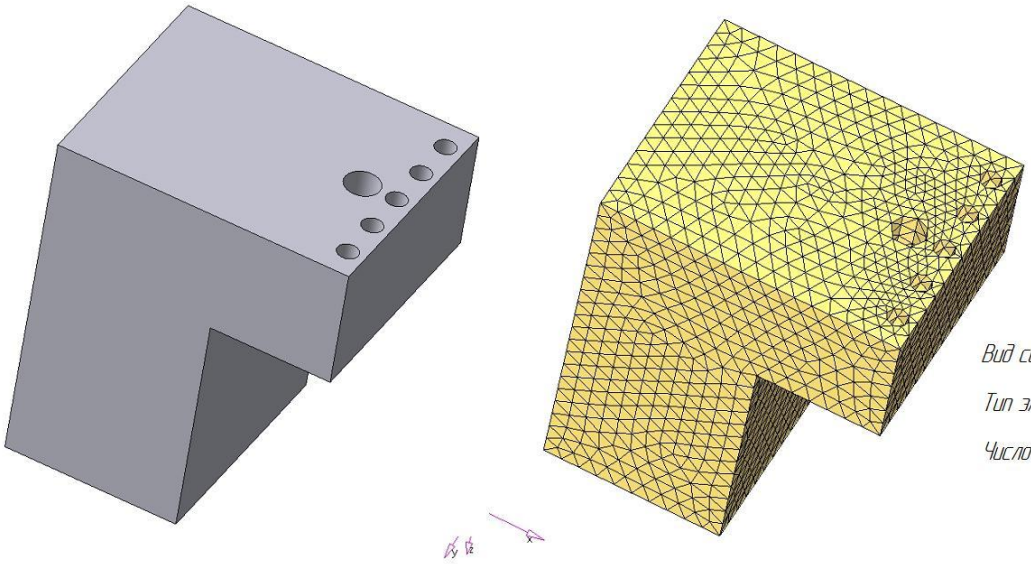
Поле распределения температур





Параллельно расположенные охлаждающие трубки



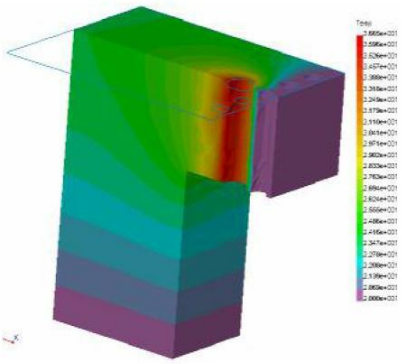


Вид сетки – рекомендуемая;

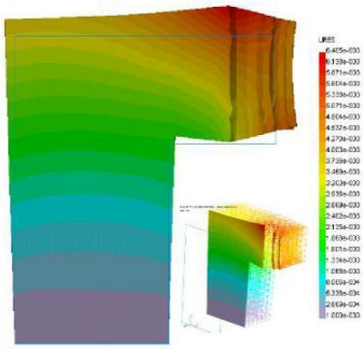
Тип элемента – линейный тетрайдер;

Число узлов – 3628 шт;

Распределение температур

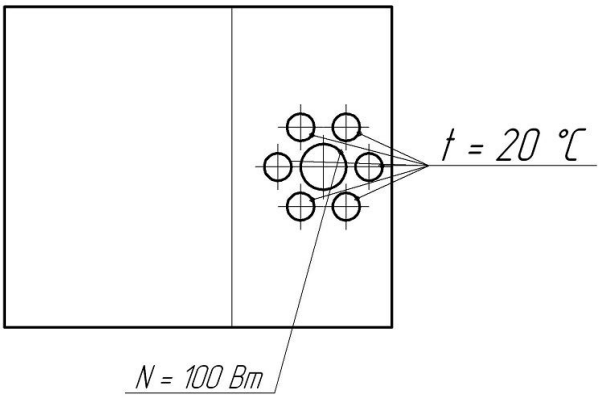


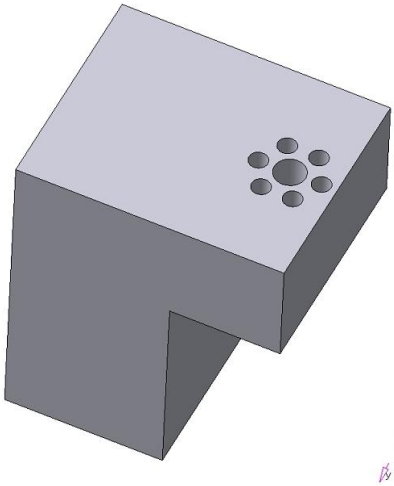
Тепловые деформации

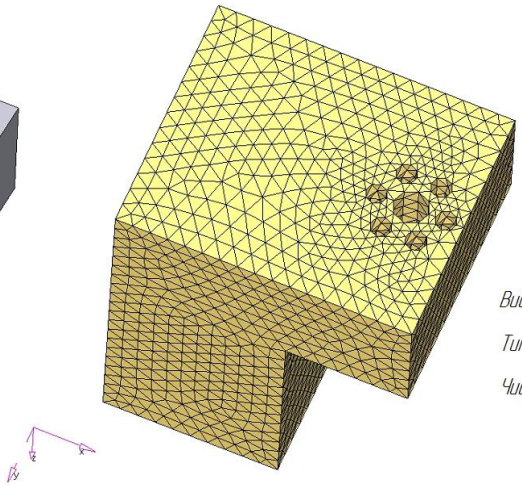


Максимальная тепловая деформация – 0,0064 мм

Расположение охлаждающих трубок вокруг источника





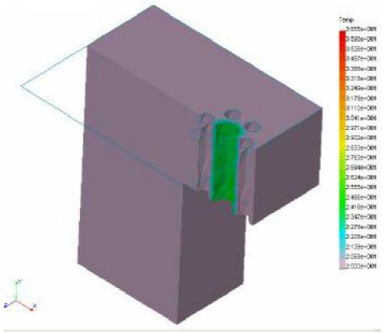


Вид сетки – рекомендуемая;

Тип элемента – линейный тетрайдер;

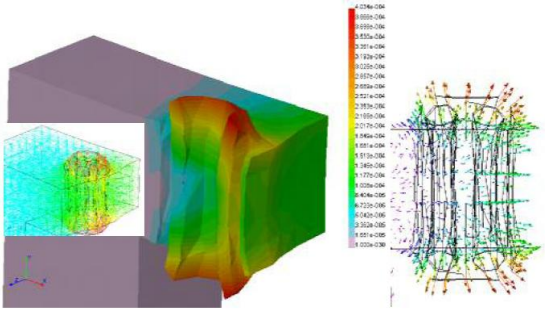
Число узлов – 3632 шт;

Распределение температур



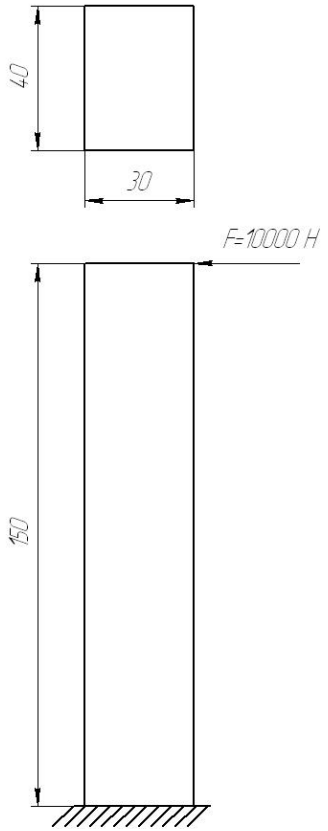
Все выделяемое тепло сразу же поглощается охлаждающими элементами

Тепловые деформации



Максимальная тепловая деформация – 0,0004 мм

Аналитический расчет консольно-закрепленной балки



Свойство	Описание	Значение	Ед. измерения
EX	Модуль упругости	2.1e+011	$Н/м^2$
NUXY	Коэффициент Пуассона	0.28	
GXY	Модуль сдвига	7.8999998e+010	$Н/м^2$
DENS	Массовая плотность	7700.0001	$кг/м^3$
SIGXT	Предел прочности при растяжении	7.2382562e+008	$Н/м^2$
SIGYLD	Предел текучести	6.20422e+008	$Н/м^2$

Прогиб $y = \frac{F}{j}$,

где жесткость $j = \frac{E \cdot J \cdot 3}{l^3}$,

где момент инерции $J_x = \frac{b \cdot h^3}{12}$,

Тогда прогиб $y = 0.6$ мм

Диаграмма изменения напряжений в зависимости от вида КЭ

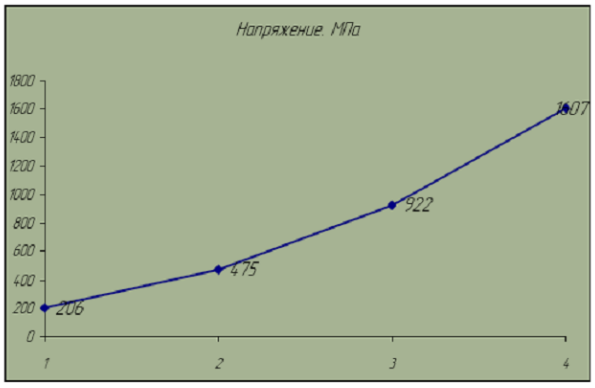
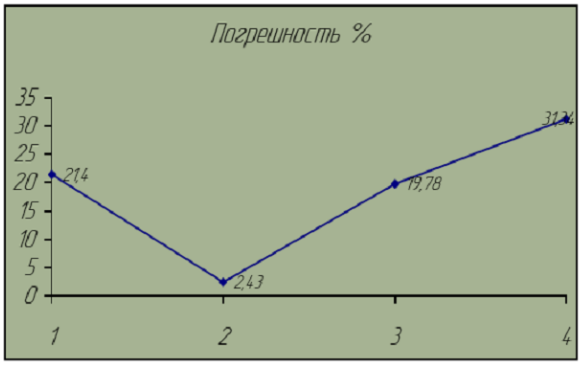


Диаграмма изменения погрешности расчета в зависимости от вида КЭ



Расчет консольно-закрепленной балки методом конечных элементов

Вид сетки – простая;

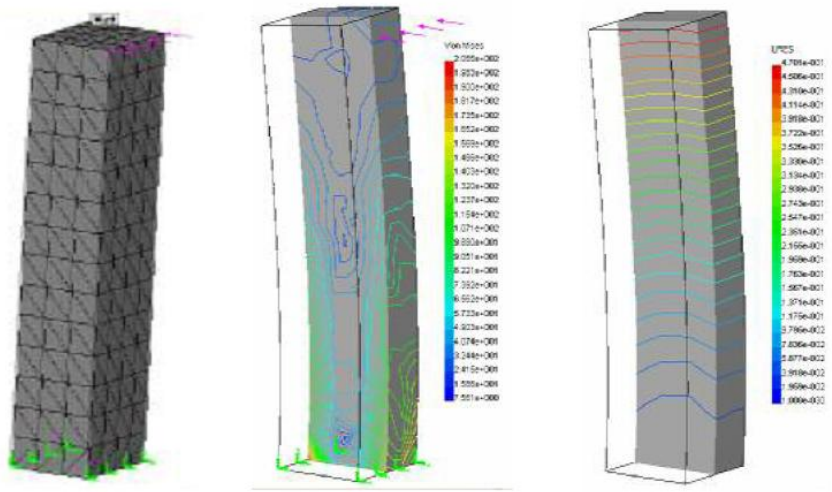
Тип элемента – линейный тетрайдер;

Число узлов – 298 шт;

Прогиб балки – 0.47 мм;

Ошибка – $\Delta := \frac{y - 0.47}{y} \cdot 100$

$\Delta = 21.04\%$



Вид сетки – рекомендуемая;

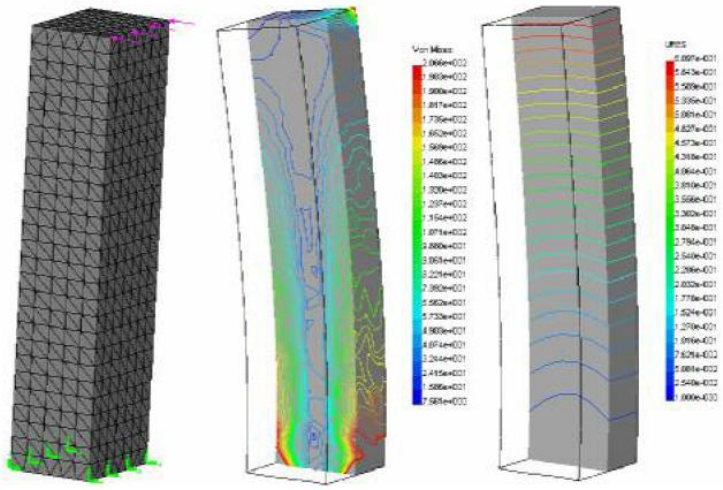
Тип элемента – линейный тетрайдер;

Число узлов – 1493 шт;

Прогиб балки – 0.60967 мм;

Ошибка – $\Delta := \frac{y - 0.6097}{y} \cdot 100$

$\Delta = 2.43\%$



Вид сетки – сложная;

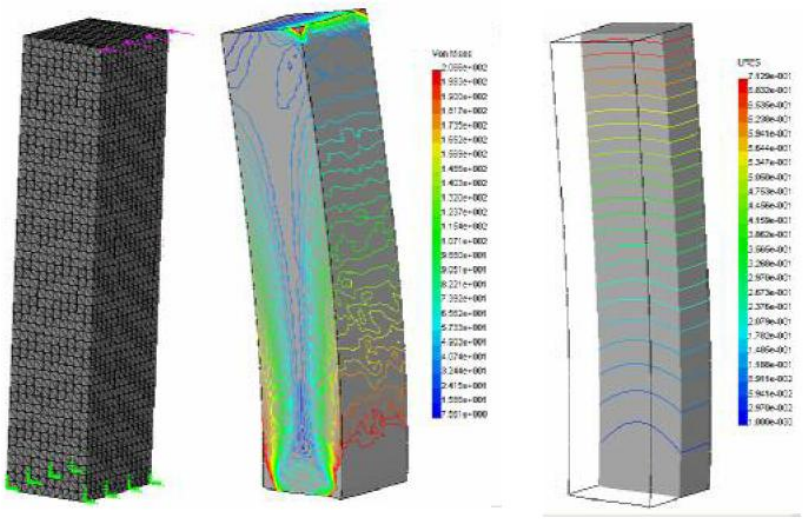
Тип элемента – линейный тетрайдер;

Число узлов – 8937 шт;

Прогиб балки – 0.713 мм;

Ошибка – $\Delta := \frac{y - 0.713}{y} \cdot 100$

$\Delta = 19{,}78\%$

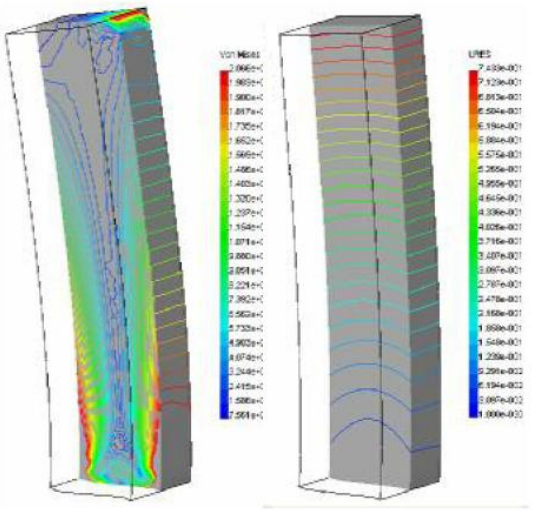


Вид сетки – рекомендуемая;

Тип элемента – нелинейный тетрайдер;

Число узлов – 10341 шт;

Прогиб балки – 0.7817 мм;

Ошибка – $\Delta := \frac{y - 0.7818}{y} \cdot 100$

$\Delta = 31{,}34\%$