

**Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Уфимский государственный авиационный технический университет**

**РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ И КОНСТРУИРОВАНИЕ
ДВИГАТЕЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ НА
БИОТОПЛИВАХ**

Лабораторный практикум по COSMOSWorks

Уфа 2008

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Уфимский государственный авиационный технический университет

Кафедра двигателей внутреннего сгорания

**РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ И КОНСТРУИРОВАНИЕ
ДВИГАТЕЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ НА
БИОТОПЛИВАХ**

Лабораторный практикум по COSMOSWorks

Уфа 2008

Составители: С.А. Загайко, И.Б. Рудой, Р.Ю. Сакулин

УДК
ББК

Рабочие процессы и конструирование двигателей, работающих на биотопливах: Лабораторный практикум по COSMOSWorks: Практикум / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост.: С.А. Загайко, И.Б. Рудой, Р.Ю. Сакулин. – Уфа, 2008. – 78 с.

В лабораторном практикуме дан порядок прочностного расчета основных деталей и узлов цилиндрично-поршневой группы и кривошипно-шатунного механизма ДВС в пакете компьютерного моделирования COSMOSWorks.

Предназначен для подготовки дипломированных специалистов по специальности 140501 – «Двигатели внутреннего сгорания», изучающих дисциплины «Рабочие процессы и конструирование двигателей, работающих на биотопливах» и «Конструирование ДВС».

Ил. 78. Библиогр.: 2 назв.

Рецензенты: докт. техн. наук, проф. Ахмедзянов Д.А.;
канд. техн. наук, доц. Дударева Н.Ю.



Лабораторный практикум разработан в рамках реализации инновационной образовательной программы подготовки кадров в области информационных технологий проектирования, производства и эксплуатации сложных технических объектов Уфимского государственного авиационного технического университета (Приоритетный национальный проект «Образование»)

© Уфимский государственный авиационный
технический университет, 2008

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Интерфейс программы.....	5
2. Функциональные возможности	14
2.1. Базовые возможности анализа	14
2.2. Типовая последовательность расчета	15
3. Лабораторная работа № 1. Расчет поршня	16
3.1. Цель работы	16
3.2. Порядок выполнения работы	16
3.4. Требования к содержанию и оформлению отчета.....	31
3.5. Вопросы для контроля	31
4. Лабораторная работа № 2. Расчет кольца.....	32
4.1. Цель работы	32
4.2. Порядок выполнения работы	32
4.3. Требования к содержанию и оформлению отчета.....	38
4.4. Вопросы для контроля	39
5. Лабораторная работа № 3. Расчет поршневого пальца	40
5.1. Цель работы	40
5.2. Порядок выполнения работы	40
5.3. Требования к содержанию и оформлению отчета.....	48
5.4. Вопросы для контроля	48
6. Лабораторная работа № 4. Расчет шатуна.....	49
6.1. Цель работы	49
6.2. Порядок выполнения работы	49
6.3. Требования к содержанию и оформлению отчета.....	58
6.4. Вопросы для контроля	58
7. Лабораторная работа № 5. Расчет коленчатого вала.....	59
7.1. Цель работы	59
7.2. Порядок выполнения работы	59
7.3. Требования к содержанию и оформлению отчета.....	64
7.4. Вопросы для контроля	64
8. Лабораторная работа № 6. Расчет гильзы цилиндра	65
8.1. Цель работы	65
8.2. Порядок выполнения работы	65
8.3. Требования к содержанию и оформлению отчета.....	74
8.4. Вопросы для контроля	75
Список литературы	76

ВВЕДЕНИЕ

COSMOSWorks – приложение к SolidWorks, предназначенное для решения задач механики деформируемого твердого тела методом конечных элементов (МКЭ) [1, 2]. Продукт разработан фирмой Structural Research and Analysis Corporation (SRAC), США, которая в настоящий момент является подразделением фирмы SolidWorks. Программа COSMOSWorks использует геометрическую модель детали или сборки SolidWorks для формирования расчетной модели. Интеграция с SolidWorks дает возможность минимизировать операции, связанные со специфическими особенностями конечно-элементной аппроксимации. Назначение граничных условий производится в привязке к геометрической модели. Такими же особенностями обладают и процедуры представления результатов.

COSMOSWorks позиционируется как инструмент "инженерного" анализа, то есть предполагается, что для специалиста-расчетчика требуются более "серьезные" средства, такие как ANSYS, NASTRAN и т.п. Однако, как показывает практика использования COSMOSWorks, подавляющая часть повседневных задач отечественного машиностроения (в той части, которая в принципе "подходит" для программ численного анализа), может быть решена посредством данной программы. Не составляют исключение и области энергомашиностроения и двигателестроения. Более того, рациональный интерфейс и разумно ограниченная функциональность дают специалисту возможность сосредоточиться на проектировании объекта машиностроения, не отвлекаясь на присутствие "универсальным" программам подробности. Как правило, залогом создания удачной конструкции является квалификация исполнителя, а расчетные программы используются лишь для проверки того, что получилось, а также поставляют материал для дальнейших проб по изменению конструкции. В этом случае применение инструментов, интегрированных в конструкторские программы, позволяет перебирать варианты с минимальными потерями времени на выполнение рутинных операций. Кроме того, никто не мешает проектировщику импортировать созданные в SolidWorks детали и сборки в более "тяжелые" пакеты и проводить прочностной расчет в них. В связи с вышеизложенным целью лабораторных работ является изучение возможностей пакета COSMOSWorks на примере прочностных расчетов деталей ДВС.

1. ИНТЕРФЕЙС ПРОГРАММЫ

COSMOSWorks имеет стандартный интерфейс приложения SolidWorks. Чтобы активировать COSMOSWorks, запустите приложение SolidWorks, загрузите какую-либо твердотельную модель и выберите в меню пункт **Инструменты | Добавления**. Откроется диалоговое окно **Добавления** (рис. 1.1), в котором установите флажок напротив пункта **COSMOSWorks 2007** и нажмите кнопку **ОК**.

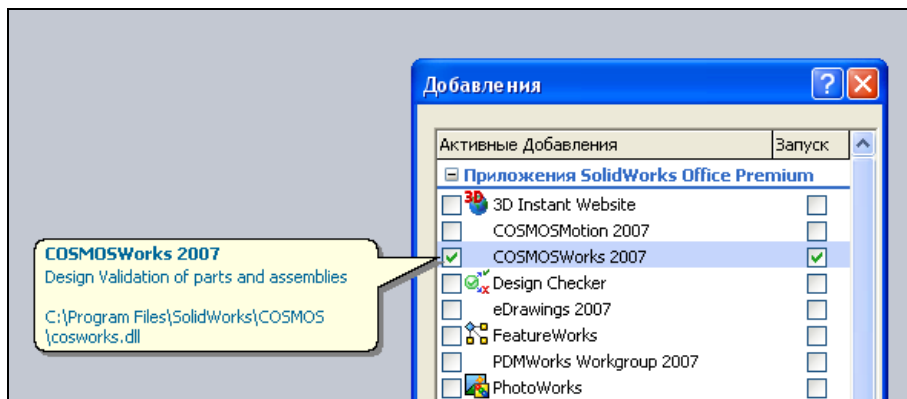


Рис. 1.1. Диалоговое окно **Добавления**

После активации COSMOSWorks в меню SolidWorks возникает соответствующий пункт, за которым скрывается меню программы. Там, где обычно располагается **Дерево конструирования**, появится кнопка **Менеджера COSMOSWorks (COSMOSWorks Manager)** (рис. 1.2), также представляющего собой дерево – в данном случае дерево расчета.

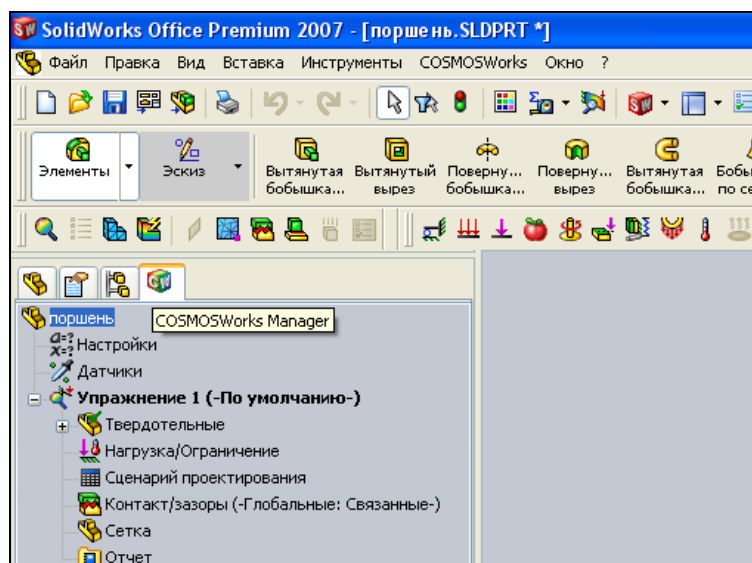


Рис. 1.2. Дерево расчета **Менеджера COSMOSWorks**

В этом дереве расчета будут присутствовать позиции, характеризующие проект в целом – пиктограмма с названием детали или сборки и пиктограмма **Настройки**, а также пиктограммы с **Упражнениями** (Studies), появляющимися после их создания пользователем. Упражнения являются ветвями, объединяющими информацию о некотором расчете: материал детали, сетка, граничные условия (нагрузки и закрепления), результаты, отчеты. Каждой пиктограмме соответствует контекстное меню, содержимое которого изменяется в зависимости от текущего состояния расчетной модели.

Для удобства работы все инструменты COSMOSWorks собраны в панели инструментов, показанные на рис. 1.3–1.10.

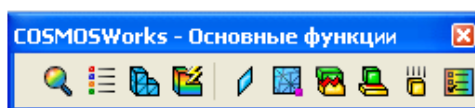





Рис. 1.3. Панель инструментов **Основные функции**


В панели инструментов **Основные функции** (см. рис. 1.3) представлены следующие кнопки:

 – **Упражнение** (Study) – создание нового **Упражнения**, изменение параметров или удаление имеющегося;

 – **Применить материал для выбранных компонентов** (Apply Material to Select) – назначение материала или изменение характеристик уже назначенного для выбранных элементов папки **Твердотельные** (Solids) или **Оболочки** (Shells);

 – **Сетка** (Mesh) – конечно-элементное разбиение модели применительно к активному **Упражнению** (Study). Перед построением сетки рекомендуется проверить действующие **Настройки** (Mesh Preferences), **Элементы управления сеткой** (Mesh Control), **Контакт/Зазоры** (Contact Condition) (последнее – только для **Упражнения** с типом **Статический**);

 – **Выполнить** (Run) – запускает решающую программу для активного **Упражнения**;

 – **Оболочка** (Shell Using Surfaces) – построение сетки на базе выделенных граней или поверхностей. Допускается иметь в списке выбора оба типа объектов, однако сетка будет, скорее всего, несшитой;



– **Применить элемент управления (Apply Mesh Control)** – назначение для объектов детали или сборки параметров плотности сетки, связанных с вершинами, кромками, гранями или – для сборки – деталями. В сборке плотность можно назначать изолированно для детали или привязывать ее к плотности, которую программа использовала бы для изолированной детали. Управление плотность в зависимости от направления не допускается;



– **Установить глобальный контакт (Set Global Contact)** – назначение контактных граничных условий "по умолчанию". Допускаются совместное перемещение, независимое перемещение и контакт в исходном состоянии с возможностью отрыва. Последний тип граничных условий следует использовать, если детали могут проскальзывать. Команда доступна только при работе со сборками для линейного упругого анализа или для решения задач с физической нелинейностью материалов. Она также частично функциональна при тепловом расчете. Для расчетов на устойчивость, при выделении собственных частот и в случае нелинейного анализа допускается только совместное перемещение деталей;



– **Определить набор соприкосновения (Define a Contact Set)** – назначение для пар взаимодействующих объектов, а также для выделенных деталей контактных граничных условий, отличных от тех, которые приняты по умолчанию. В дополнение к граничным условиям можно для пар граней назначать условия вхождения в контакт;



– **Настройка испытания на ударную нагрузку (Drop Test Setup)** – назначение параметров моделирования процесса падения. Допускается выбор высоты падения или скорости. Назначается ориентация плоскости, на которую падает объект и коэффициент трения. Полупространство, на которое "падает" модель, считается абсолютно жестким. Анализ сопровождается решением контактной задачи с переменной границей;



– **Параметры результатов (Result Options)** – настройка параметров отображения результатов выбранного Упражнения. Команда доступна только после его расчета.

В панели инструментов **Нагрузки** (рис. 1.4) представлены следующие команды:



– **Ограничения (Restraints)** – назначение граничных условий на выбранных элементах модели для активного механического

Упражнения (для типов анализа **Статический, Собственные частоты, Устойчивость, Нелинейный**);

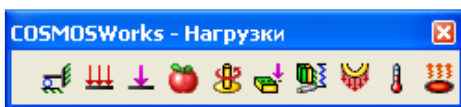







Рис. 1.4. Панель инструментов **Нагрузки**


 – **Давление (Pressure)** – приложение давления к выбранным граням для активного механического **Упражнения**;

 – **Сила (Force)** – приложение силы, крутящего или изгибающего момента на выбранных объектах модели для активного механического **Упражнения**. Заданное усилие прикладывается на каждом из выбранных объектов;

 – **Сила тяжести (Gravity)** – задание гравитационных (шире – инерционных) нагрузок для активного механического **Упражнения**. Данная сила прикладывается к каждому элементу модели;

 – **Центробежная сила (Centrifugal Force)** – задание центробежной силы для активного механического **Упражнения**;

 – **Дистанционная нагрузка (Remote Load)** – приложение удаленных нагрузок для активного механического **Упражнения**;

 – **Жесткая связь (Connectors)** – ввод виртуальных объектов, имитирующих соединительные элементы. К соединительным элементам, поддерживаемым COSMOSWorks, относятся следующие:

– **Жесткая связь (Rigid)** – ввод абсолютно жесткого тела, соединяющего грани двух деталей;

– **Пружина (Spring)** – включение "распределенной" пружины растяжения-сжатия или сдвига, возможно предварительно напряженной, между плоскими гранями;

– **Шпилька (Pin)** – включение абсолютно жесткого штифта, соединяющего концентрические цилиндрические отверстия двух деталей. Штифт может обеспечивать поворот или осевое смещение деталей с назначенной жесткостью;


– **Упругое основание (Elastic Support)** – имитация податливого основания, ограничивающего подвижность заданных граней деталей. Основание может иметь нормальную и сдвиговую жесткость;


– **Болт (Bolt)** – ввод податливого объекта, воспроизводящего действие болта с предварительной затяжкой. Последняя задается осевой силой или крутящим моментом. В случае задания момента необходимо задание коэффициента трения для расчета силы. Болт может сопрягаться с соединяемой деталью через виртуальную резьбу и/или через имитацию шайбы;

– **Сварная точка (Spot Weld)** – ввод промежуточного элемента, имитирующего точку или несколько точек точечной сварки;

– **Подшипник (Bearing)** – ввод промежуточной связи путем имитации шарикового или роликового подшипника качения;

– **Шарнирная связь (Link)** – соединение двух точек на деталях абсолютно жестким стержнем, на обоих концах которого расположены шарниры;

 – **Рабочая нагрузка (Bearing Load)** – приложение контактных опорных нагрузок на выбранных гранях для активного механического **Упражнения**;

 – **Температура (Temperature)** – назначение температуры на выбранных объектах для активного **Упражнения** с типом анализа **Тепловой** или **Статический**.

В панели инструментов **Термические нагрузки** (рис. 1.5) представлены следующие команды:

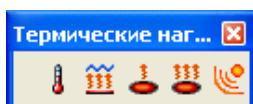







Рис. 1.5. Панель инструментов **Термические нагрузки**

 – **Температура (Temperature)** – назначение температуры на выбранных объектах активного **Упражнения** с типом анализа **Тепловой** или **Статический**;

 – **Конвекция (Convection)** – приложение конвекции на выбранных гранях для активного **Упражнения** с типом анализа **Тепловой**;

 – **Тепловая мощность (Heat Power)** – приложение тепловой мощности на выбранных гранях для активного **Упражнения** с типом анализа **Тепловой**. Эта величина назначается для каждой из выбранных граней;


 – **Тепловой поток** (Heat Flux) – приложение теплового потока на выбранных гранях для активного **Упражнения** с типом анализа **Тепловой**;


 – **Излучение** (Radiation) – назначение излучения выбранными гранями для активного **Упражнения** с типом анализа **Тепловой**.


В панели инструментов **Показать инструменты результатов** (рис. 1.6) представлены следующие команды:




Рис. 1.6. Панель инструментов **Показать инструменты результатов**

 – **Сила реакции** (Reaction Force) – вывод интегральной величины усилия, приложенного к некоторому геометрическому элементу детали, детали в сборке или сборки в целом;

 – **Сила контакта** (Contact Force) – вывод численных характеристик контактного усилия между деталями в сборке на поверхности соприкосновения. Выводится также величина силы, вызванной трением;

 – **Сила шпильки/болта** (Pin/Bolt Force) – вывод осевого и сдвигового компонентов усилия, возникающего в болтовом соединении, а также крутящего момента. Компоненты, вызванные предварительным натягом, также включаются в отображаемые значения;

 – **Режимы** (List Modes) – отображение величин собственных частот для расчета на резонанс;

 – **График ответа** (Response Graph) – формирование кривой отклика в нелинейной задаче.

В панели инструментов **Инструменты результатов** (рис. 1.7) представлены следующие команды:

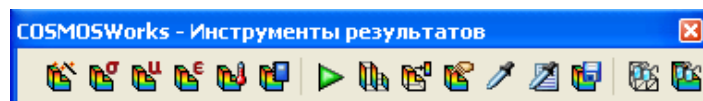






Рис. 1.7. Панель инструментов **Инструменты результатов**


 – **Помощник для проверки проектирования** (Design Check Wizard) – активизация **Помощника для проверки проектирования** для активного статического **Упражнения**. Помощник осуществляет


сравнение результатов расчета напряжений с выбранным критерием прочности;


 – **Напряжение** (Stress) – визуализация диаграмм напряжений: компонентов глобальной или локальной системы координат, эквивалентных напряжений по Мизесу, а также оценки ошибки вычисления напряжений;


 – **Перемещение** (Displacement) – визуализация диаграмм перемещений относительно глобальной или локальной системы координат, силы реакции и ее компонентов;


 – **Деформация** (Strain) – визуализация диаграмм деформации относительно глобальной или локальной системы координат, эквивалентных деформаций, а также плотности энергии деформирования;


 – **Термическая** (Thermal) – визуализация диаграмм температур, градиентов температуры относительно глобальной или локальной системы координат, теплового потока и его градиентов;


 – **Отчет** (Report) – генерация отчета, содержащего результаты текущего активного **Упражнения**;


 – **Анимировать** (Animate) – анимация отображаемой картинки с результатами;

 – **Ограничение сечения** (Clipping) – активизация окна **Отсечение**, предназначенного для управления сечениями активного вида или построения изоповерхностей;


 – **Ограничение Iso** (Color Map) – активизация меню **Карта цветов**, предназначенного для задания цветовой палитры активной картинки с результатами;


 – **Параметры** (Settings) – настройка параметров отображения активной диаграммы с результатами: способа визуализации сетки или границ, окружающих деталей в сборке, масштаба деформированного вида и т.д.;


 – **Зондирование** (Probe) – вывод числового значения отображаемого результата в месте, указанном щелчком мыши на поверхности модели или в сечении. Отображается величина результата в ближайшем к указанной точке узле;

 – **Выбранный список** (List Selected) – вывод числовых значений отображаемого результата в узлах, принадлежащих заданным

(одному или нескольким) объектам модели. Вычисление суммы и среднего, а также корня из квадрата среднего. Возможно отображение графика, где абсциссой являются указанные точки, причем располагаются они равномерно. Этим инструментом возможно формирование эпюр полей в привычном для сопротивления материалов виде;

 – **Сохранить как (Save As)** – запись активной картинке в файл;

 – **Отобразить/скрыть сетку (Show/Hide Mesh)** – отображает или скрывает сетку. Если визуализируются какие-либо результаты, то нажатие этой кнопки приведет к отображению "нормального" вида модели SolidWorks;

 – **Отобразить/скрыть результат (Show/Hide Results)** – переключает визуальное отображение результата.

В панели инструментов **Сценарий проектирования** (рис. 1.8) представлены следующие команды:

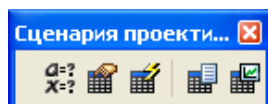






Рис. 1.8. Панель инструментов **Сценарий проектирования**

 – **Настройки (Parameters)** – формирование таблицы параметров, содержащей характеристики, а также их комбинации, которые будут изменяться в ходе выполнения **Сценария проектирования**;

 – **Сценарий проектирования (Design Scenario)** – назначение одной или нескольких совокупностей параметров, для которых будет исследоваться поведение конструкции;

 – **Выполнить (Run Design Scenario)** – запуск на выполнение **Сценария проектирования**;

 – **Отобразить сводку (Show Summary)** – вывод результатов выполнения **Сценария проектирования**;

 – **Определить график (Define Graph)** – формирование графиков, отображающих зависимости результатов от параметров, включенных в **Сценарий проектирования**.

В панели инструментов **Оптимизация** (рис. 1.9) представлены следующие команды:

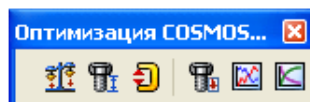






Рис. 1.9. Панель инструментов **Оптимизация**


 – **Цель (Objective)** – назначение целевой функции для активного **Упражнения** с типом анализа **Оптимизация**;

 – **Расчетные параметры (Design Variable)** – задание переменных проектирования для **Упражнения** с типом анализа **Оптимизация**;

 – **Ограничение (Constraint)** – задание ограничений для **Упражнения** с типом анализа **Оптимизация**;

 – **Результаты этапов проектирования (Design Cycle Result)** – отображение модели на заданном шаге итерации после успешного оптимизационного анализа;

 – **График этапов проектирования (Design History Graph)** – отображение графиков зависимости переменных проектирования, целевой функции и ограничений от номера итерации после успешного оптимизационного анализа;

 – **График локальной тенденции (Local Trend Graph)** – вывод кривых тренда – графиков зависимости переменных проектирования от целевой функции и ограничений.

В панели инструментов **Усталость** (рис. 1.10) представлены следующие команды:

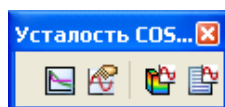






Рис. 1.10. Панель инструментов **Усталость**

 – **Изменить тип события (Change Event Type)** – изменяет тип события для усталости в активном **Упражнении** с типом анализа **Усталость**;

 – **Добавить событие (Add Event)** – добавляет событие для усталости в активном **Упражнении** с типом анализа **Усталость**;

 – **Определить эпюру (Function Curves)** – определяет эпюру усталости;

 – **Список (List Fatigue Results)** – отображает список результатов усталостного анализа.

2. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

При создании COSMOSWorks разработчиками в качестве базы была взята универсальная конечно-элементная программа COSMOSM, у которой были заимствованы математика пре- и пост-процессора, алгоритм формирования матрицы жесткости и линейные решатели. Расчетная функциональность изначально была ограничена рамками тетраэдральных конечных элементов применительно к единственной детали или сборки с монолитной связью деталей. Дальнейшее развитие программы происходило в связи с SolidWorks и заключалась во внедрении функций, необходимых для типовых расчетных ситуаций.

2.1. Базовые возможности анализа

COSMOSWorks позволяет выполнять следующие виды моделирования:

- статический анализ в упругой постановке с расчетом отдельных деталей по пространственной или оболочечной модели, а также сборок в трехмерной постановке с учетом взаимодействия деталей;
- расчет собственных частот и соответствующих им форм для деталей в твердотельном или оболочечном представлении, а также сборок с неподвижными деталями;
- расчет величин критических нагрузок потери устойчивости и соответствующих им форм для деталей в твердотельном или оболочечном представлении, а также сборок с неподвижными деталями;
- тепловой расчет с учетом явлений теплопроводности, конвекции, излучения, но без учета движения сред;
- термоупругий анализ на базе результатов теплового расчета;
- параметрическая оптимизация по критерию минимизации/максимизации массы, объема, собственных частот и критической силы;
- имитация деформирования конструкции с учетом физической и геометрической нелинейности, а также в виду изменения нагрузок и температуры во времени;
- моделирование эффекта падения конструкции на жесткую поверхность;

– усталостный расчет с учетом кривых усталости, формы кривой нагрузки, а также линейной гипотезы суммирования повреждений.

Все эти типы анализов могут быть связаны с одним и тем же объектом SolidWorks.

2.2. Типовая последовательность расчета

COSMOSWorks требует соблюдения базовой канвы алгоритма метода конечных элементов, предоставляя внутри каждого этапа определенную свободу в последовательности шагов подготовки модели и рассмотрения результатов. Для расчета конструкции в упругой постановке представляется следующая цепочка событий:

1. Создание анализа (**Упражнения**) определенного типа и назначение его настроек. Последние могут быть изменены в любой момент перед выполнением расчета.

2. Заполнение, если необходимо, таблицы параметров, определяющей набор величин, которые могут изменяться (конкретно – для которых могут назначаться списки значений) в ходе расчета.

3. Подготовка исходных данных внутри заданного анализа:

- назначение материала детали или деталям;
- назначение кинематических граничных условий;
- назначение статических граничных условий;
- создание сетки.

4. Связывание, в случае необходимости, параметров из таблицы параметров с соответствующими анализами.

5. Выполнение расчета.

6. Обработка результатов:

- создание необходимых диаграмм;
- анализ диаграмм;
- экспорт результатов.

Процедура оптимизации базируется на результатах расчетов в линейной постановке (статического анализа, расчета на собственные частоты и на устойчивость). Усталостный анализ требует также статического расчета.

3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. РАСЧЕТ ПОРШНЯ

3.1. Цель работы

Целью работы является получения навыков назначения нагрузок на поршень, задания граничных условий и проведения прочностного расчета поршня методом конечных элементов в COSMOSWorks, а также повышение уровня компетенций в области расчета теплонапряженного состояния поршня.

3.2. Порядок выполнения работы

В процессе выполнения работы необходимо рассмотреть условия работы поршня ДВС и определить нагрузки на его элементы. Для выполнения расчета потребуются следующие нагрузки на поршень:

- давление газов P_g на днище поршня с учетом давления в кривошипной камере (распределенная нагрузка);
- температурное воздействие на днище поршня (тепловая нагрузка);
- боковое усилие N на поршень со стороны цилиндра;
- сила на поршневую перемычку со стороны поршневого кольца;
- максимальная инерционная сила P_j , действующая на каждую точку материала поршня;
- сила на бобышки поршня со стороны поршневого пальца (задается с помощью ограничения (фиксации)).

Прочностной расчет поршня в COSMOSWorks выполняется в следующем порядке:

1. Запустите программу SolidWorks, загрузите или постройте модель поршня (рис. 3.1).

2. Для задания материала щелкните правой кнопкой мыши на элементе  Материал <не указан> в Дереве конструирования SolidWorks.

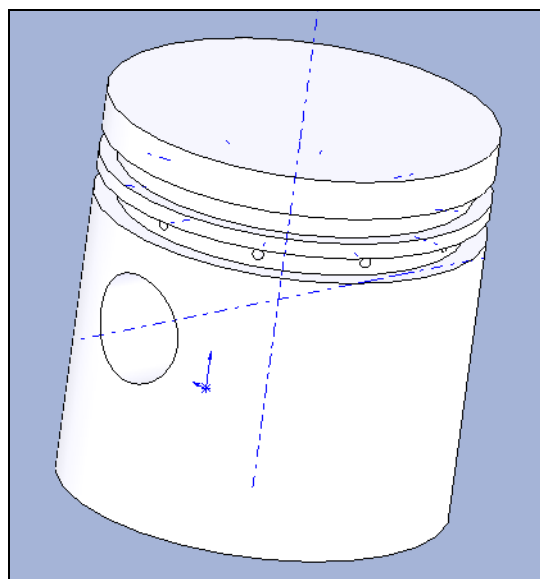

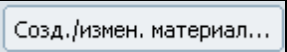


Рис. 3.1. Геометрическая модель поршня

В появившемся контекстном меню выберите один из часто используемых материалов. Если необходимого материала нет, то выберите мышью пункт  Редактировать материал. В Менеджере свойств откроется диалоговое окно **Редактор материалов**, показанное на рис. 3.2, в котором представлено гораздо большее количество материалов, расположенных в определенной иерархии. Свойства материалов, представленных в этом окне, изменять нельзя. Если же необходимо выбрать материал, которого нет в окне **Редактор материалов**, то можно создать свой собственный материал и назначить ему соответствующие свойства. Чтобы создать новый материал, щелкните мышью кнопку . Откроется новое окно, в котором появится возможность создания новой базы материалов и задания нового материала со своими свойствами.

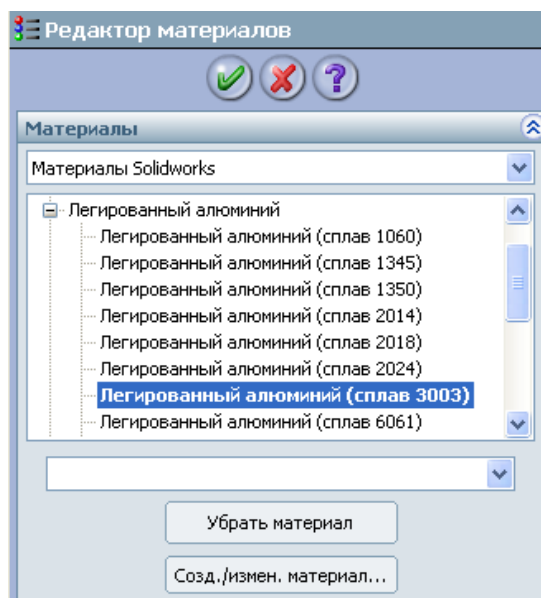





Рис. 3.2. Диалоговое окно **Редактор материалов**

3. Теперь перейдем к созданию упражнения прочностного расчета. Для этого щелкните мышью по кнопке **Менеджера COSMOSWorks** . Создайте новое **Упражнение** для анализа, нажав на кнопку  — **Упражнение** в панели инструментов **COSMOSWorks – Основные функции** или пройдя путь в главном меню **COSMOSWorks | Упражнение**. В **Менеджере COSMOSWorks** откроется диалоговое окно **Упражнение**, показанное на рис. 3.3.

Задайте имя упражнения, например, **Поршень**, и выберите **Тип анализа Статичный (Static)**. Проверьте тип сетки **Сетка на твердом теле**. После установки всех параметров нажмите кнопку  **ОК**. В

Менеджере **COSMOSWorks** появятся элементы, с помощью которых можно задавать нагрузки и ограничения.

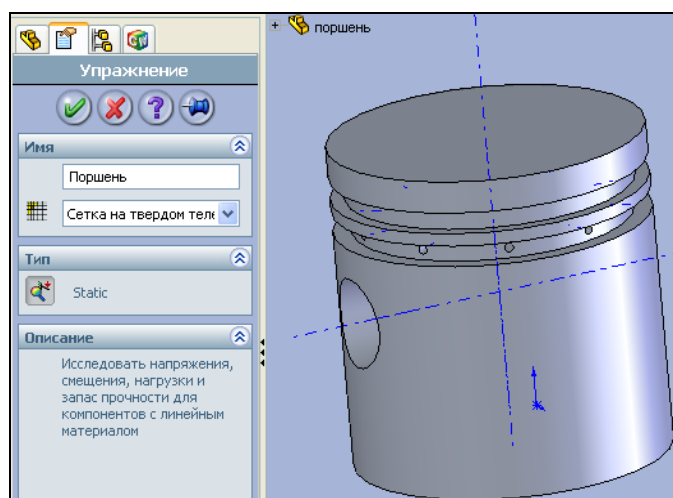



Рис. 3.3. Диалоговое окно **Упражнение**

4. Теперь можно перейти к заданию нагрузок. Зададим на днище поршня давление газов P_2 с учетом давления в кривошипной камере. Эта нагрузка является распределенной. Для этого нажмите на кнопку  — **Давление** в панели инструментов **COSMOSWorks** – **Нагрузки** или пройдите путь в главном меню **COSMOSWorks** | **Нагрузки/Ограничение** | **Давление**. Откроется диалоговое окно **Давление**, показанное на рис. 3.4.

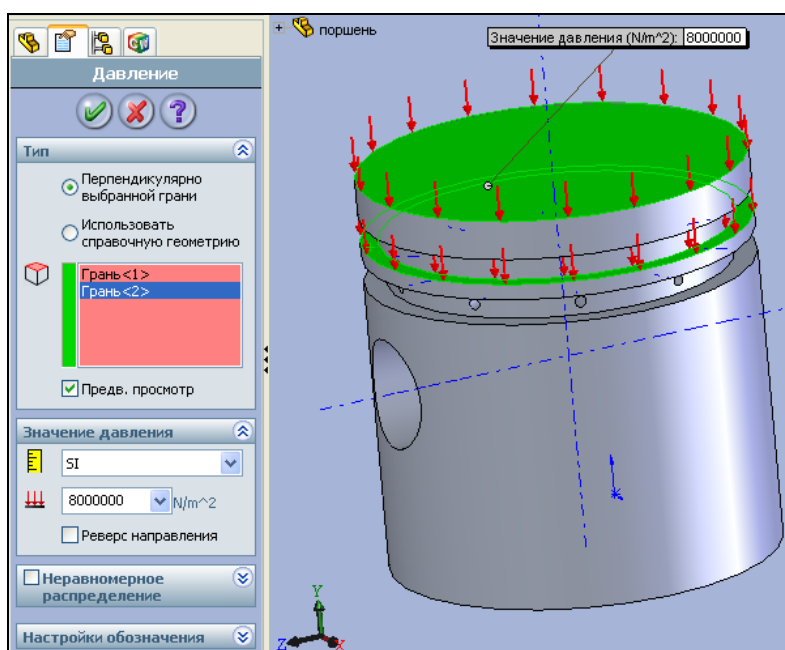





Рис. 3.4. Диалоговое окно **Давление**

В диалоговом окне щелкните мышью в области **Грани для давления**  и затем укажите грань поршня, являющейся днищем (**Грань<1>**) (см. рис. 3.4). Поскольку давление газов, прорываясь через зазор между поршнем и цилиндром, действует и на первую кольцевую перемычку, то в качестве воздействия этой нагрузки укажите верхнюю грань перемычки (**Грань<2>**). В области **Значение давления** задайте величину, например, 8 МПа, полученную из теплового расчета двигателя. Эта величина является максимальным давлением цикла. После задания всех параметров нажмите кнопку  **ОК**.

5. Далее зададим тепловую нагрузку на днище поршня с помощью средней температуры поверхности днища. Для этого нажмите кнопку  — в панели инструментов **COSMOSWorks – Нагрузки** или пройдите путь в главном меню **COSMOSWorks | Нагрузки/Ограничение | Температура**. Откроется диалоговое окно **Температура**, показанное на рис. 3.5.

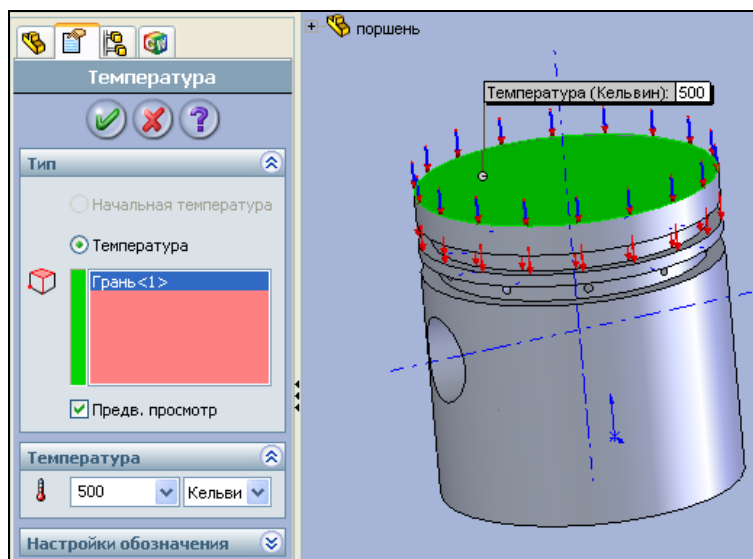









Рис. 3.5. Диалоговое окно **Температура**

В диалоговом окне щелкните мышью в области **Грани, Кромки, Вершины, Компоненты для температуры**  и затем укажите грань поршня, являющейся днищем (**Грань<1>**) (см. рис. 3.5). В области **Температура** задайте величину, например, 500 Кельвин. После задания всех параметров нажмите кнопку  **ОК**.

6. Теперь зададим боковое усилие N на поршень со стороны цилиндра. Поскольку боковое усилие действует не по всей образующей цилиндрической поверхности, а область действия силы ограничена

зоной, составляющей примерно 1/6 часть окружности, то необходимо эту зону сформировать. Для этого перейдите в режим геометрических построений, нажав кнопку  — **Дерево конструирования**. Затем поверните модель нижней частью юбки поршня к себе и щелкните мышью по нижней грани (рис. 3.6) так, чтобы она подсветилась.

Откройте на этой грани эскиз, нажав на кнопку  — **Эскиз** в панели инструментов **Эскиз** или пройдите путь в главном меню **Вставка | Эскиз**. Программа перейдет в режим рисования эскиза. Нажмите кнопку  — **Перпендикулярно** в панели инструментов **Стандартные виды**, чтобы совместить плоскость эскиза с плоскостью экрана. Затем с помощью инструмента  — **Центр дуги** в панели инструментов **Эскиз** постройте в эскизе на боковой поверхности юбки поршня дугу так, как показано на рис. 3.7. Нажмите кнопку  **ОК**, чтобы закрыть диалоговое окно **Дуга**.

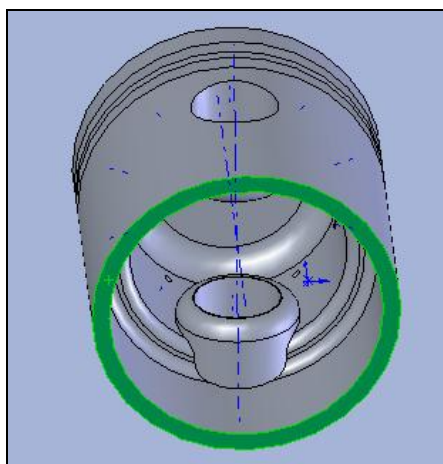


Рис. 3.6. Выделение нижней грани юбки поршня

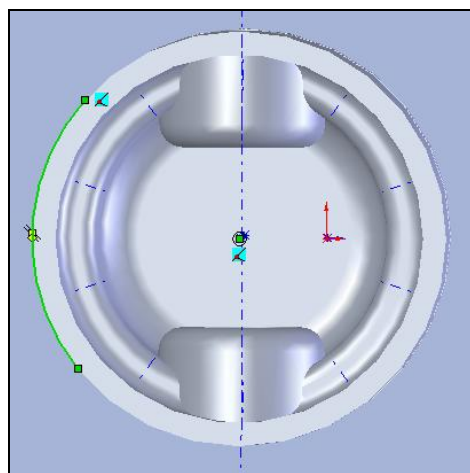

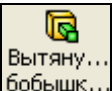



Рис. 3.7. Рисование дуги на боковой поверхности

Теперь не выходя из режима рисования эскиза, переключите панель инструментов **Эскиз** на панель **Элементы**, нажав кнопку .

В этой панели выберите инструмент  — **Вытянутая бобышка/основание**. Программа автоматически выберет редактируемый эскиз и попытается его вытянуть. Поскольку эскиз дуги является незамкнутым, то он будет интерпретироваться как тонкостенный элемент. С помощью кнопки  — **Реверс направления** в области **Тонкостенный элемент** диалогового окна **Вытянуть** добейтесь того, чтобы

направление натяжения материала происходило наружу (рис. 3.8). Затем с помощью стрелок произведите натяжение материала вдоль поршня (например, расстояние 40 мм).

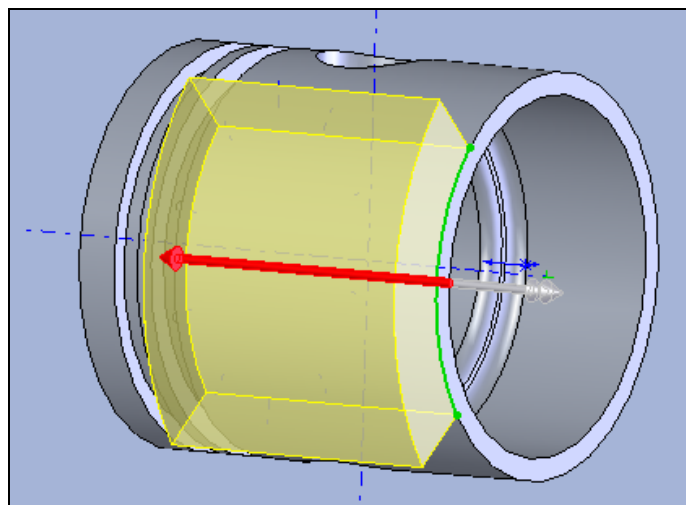



Рис. 3.8. Вытягивание материала для зоны нагрузки

Затем в окне **Толщина**  задайте величину вытягивания 0,0001 мм (рис. 3.9). Эта величина является минимальной толщиной, которая допускается программой при построении геометрии. Таким образом будет очерчена зона приложения нагрузки. Хотя геометрия поршня несколько нарушается, но, тем не менее, это нарушение не повлияет на результаты прочностного расчета. Кроме того, необходимо установить флажок у параметра **Результат слияния**, тогда созданное вытягивание будет иметь с построенным поршнем одно тело.

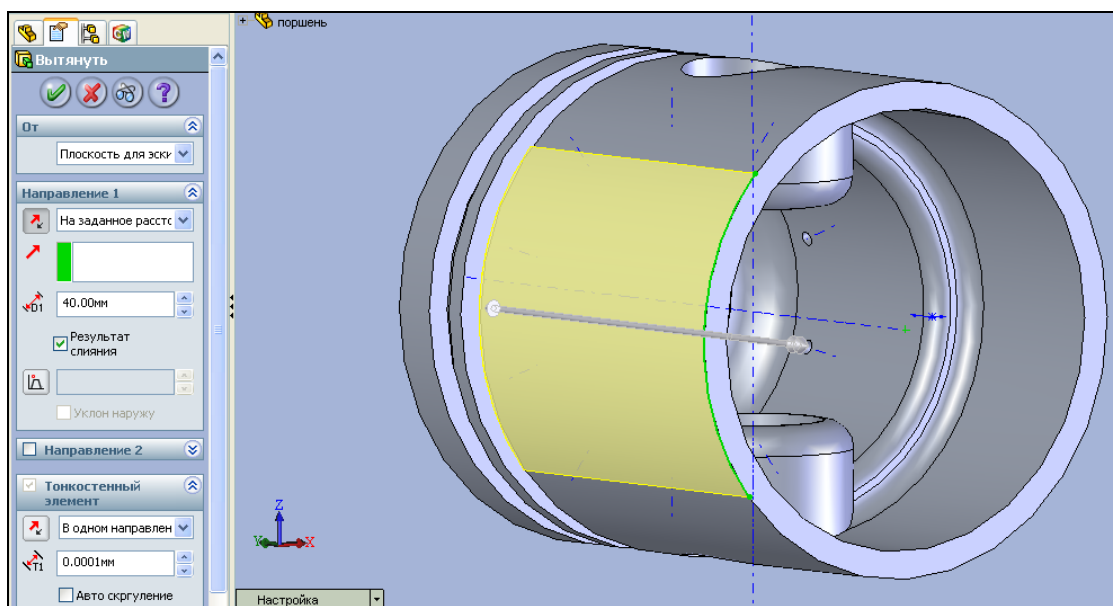



Рис. 3.9. Параметры для вытягивания

После задания всех параметров нажмите кнопку  **ОК**.

Теперь можно задать боковое усилие N на поршень со стороны цилиндра на только что построенную зону (эту силу необходимо получить из динамического расчета кривошипно-шатунного механизма двигателя). Для этого перейдите в режим расчета на прочность и нажмите на кнопку  — **Сила** в панели инструментов **COSMOS-Works – Нагрузки** или пройдите путь в главном меню **COSMOS-Works | Нагрузки/Ограничение | Сила**. Откроется диалоговое окно **Сила**, показанное на рис. 3.10.

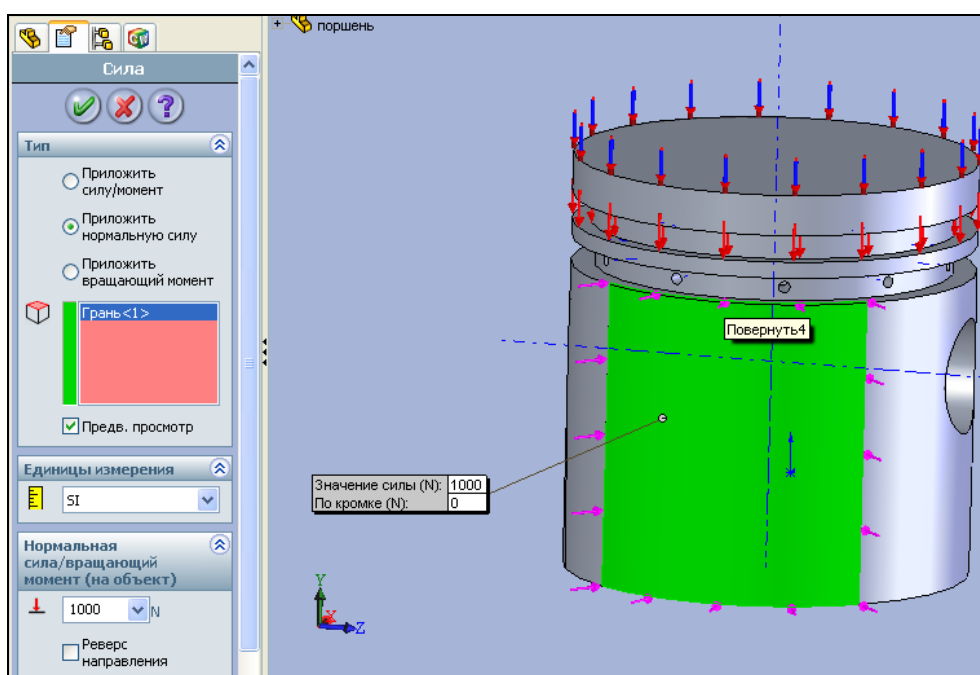






Рис. 3.10. Задание боковой нагрузки

Сначала установите переключатель в положение **Приложить нормальную силу**, затем щелкните мышью в области **Грани для нормальной силы**  и далее укажите грань построенной зоны поршня (**Грань<1>**) (см. рис. 3.10). В области  — **Значение силы** задайте величину боковой силы, например, 1000 Н (максимальная величина боковой силы из динамического расчета). После задания всех параметров нажмите кнопку  **ОК**.

7. Теперь зададим инерционную нагрузку на поршень. Для этого нажмите на кнопку  — **Сила тяжести** в панели инструментов **COSMOSWorks – Нагрузки** или пройдите путь в главном меню **COSMOSWorks | Нагрузки/Ограничение | Сила тяжести**. Откроется диалоговое окно **Сила тяжести**, показанное на рис. 3.11.

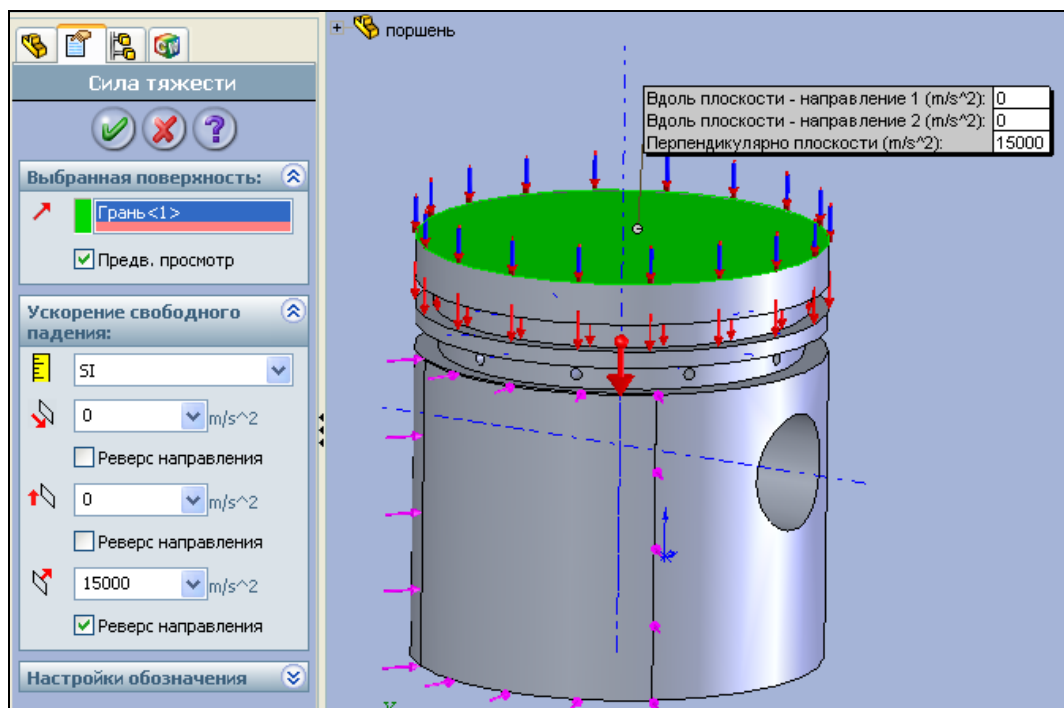






Рис. 3.11. Задание инерционной нагрузки

Сначала нужно задать направление инерционной нагрузки. Для этого щелкните мышью в области  — **Грань, Кромка, Плоскость для направления** и затем укажите мышью днище поршня. Сила инерции поршня направлена вдоль его оси в противоположную сторону от действующего на поршень ускорения. Теперь задайте величину ускорения поршня в области  — **Перпендикулярно плоскости**, например, 15000 м/с^2 (эту величину необходимо взять из кинематического расчета КШМ). Следует задавать максимальное ускорение, действующее на поршень. Чтобы сменить направление действия ускорения, установите флажок у параметра **Реверс направления** (см. рис. 3.11). После задания всех параметров нажмите кнопку  **ОК**. Обозначением инерционной нагрузки является большая красная стрелка, указывающая направление действия ускорения.

8. Осталось задать силу, действующую от поршневого пальца на бобышки поршня. Но поскольку при рассмотрении детали вне связи с другими деталями сумма всех сил на эту деталь должна быть равна 0, то вместо задания силы на бобышки можно их просто закрепить (граничное условие ограничения). Для этого нажмите на кнопку  — **Ограничения** в панели инструментов **COSMOSWorks – Нагрузки** или пройдите путь в главном меню **COSMOSWorks | Нагруз-**

ки/Ограничение | Ограничения. Откроется диалоговое окно **Ограничение**, показанное на рис. 3.12.

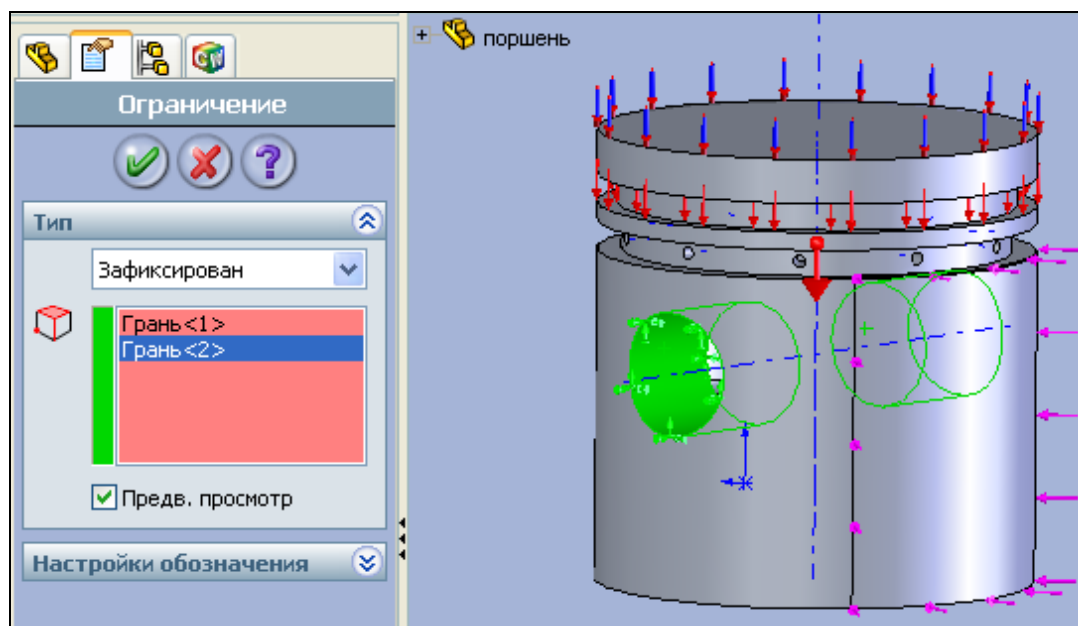






Рис. 3.12. Задание ограничения на бобышки поршня

Теперь просто щелкните мышью по внутренним граням обеих бобышек. Появление зеленых стрелочек указывает о выполнении команды. После задания ограничения нажмите кнопку  **ОК**.

9. В процессе задания нагрузок и ограничений в **Менеджере COSMOSWorks** появляются элементы, отвечающие за эти назначения. Если требуется отредактировать какой-либо элемент, то просто нажмите правой кнопкой мыши на необходимый элемент и в контекстном меню выберите пункт **Редактировать определение**. Откроется соответствующее этому назначению диалоговое окно, в котором можно сделать все необходимые исправления.

После задания всех нагрузок и ограничений можно провести прочностной расчет. Для этого нажмите кнопку  — **Выполнить** в панели инструментов **COSMOSWorks – Основные функции** или пройдите путь в главном меню **COSMOSWorks | Выполнить**.

10. Перед началом расчета программа начнет создавать сетку из множества конечных элементов. Может случиться так, что программа не сможет создать сетку из-за ее грубого разбиения, которое выбирается автоматически. В этом случае нажмите на кнопку  — **Сетка** в панели инструментов **COSMOSWorks – Основные функции** или пройдите путь в главном меню **COSMOSWorks | Сетка | Создать**.

Откроется диалоговое окно **Сетка**, показанное на рис. 3.13, в котором необходимо передвинуть ползунок в направлении значения **Высокое**. Этим самым будет уменьшен размер конечного элемента и разбиение будет более точным. Если требуется начать прочностной расчет после удачного разбиения сетки, то установите флажок у параметра **Запуск анализа после создания сетки**. После задания размеров сетки нажмите кнопку  **ОК**. Запустите расчет на прочность.

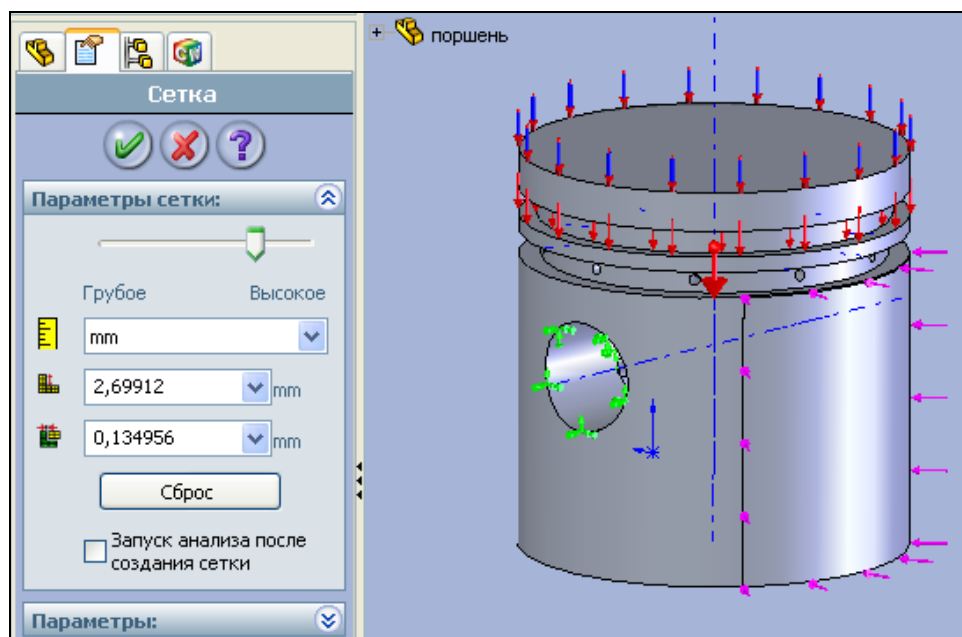





Рис. 3.13. Изменение размера конечного элемента

11. После успешного прочностного расчета в **Менеджере COSMOSWorks** в папке **Результаты** появятся результаты, среди которых будут следующие:

а) напряжения по Мизесу (рис. 3.14). Красным цветом отмечаются элементы, имеющие наибольшее напряжение, синим — наименьшие. Стрелка на цветной шкале указывает предел текучести матери. Значение параметров отображения эпюры напряжений можно изменить после нажатия кнопки  — **Напряжение** в панели инструментов **COSMOSWorks – Инструменты результатов** или в главном меню **COSMOSWorks | Результаты эпюры | Напряжение**;

б) перемещения точек модели от их первоначального расположения (рис. 3.15). Красным цветом отмечаются элементы, имеющие наибольшее перемещение, синим — наименьшие. Значение параметров отображения эпюры перемещений можно изменить после нажатия кнопки  — **Перемещение** в панели инструментов **COSMOS-**

Works – Инструменты результатов или в главном меню COSMOSWorks | Результаты эпюры | Перемещение;

в) деформации элементов модели (рис. 3.15). Красным цветом отмечаются элементы с наибольшей деформацией, синим — с наименьшей. Значение параметров отображения эпюры деформаций можно изменить после нажатия кнопки  — Деформация в панели инструментов COSMOSWorks – Инструменты результатов или в главном меню COSMOSWorks | Результаты эпюры | Деформация.

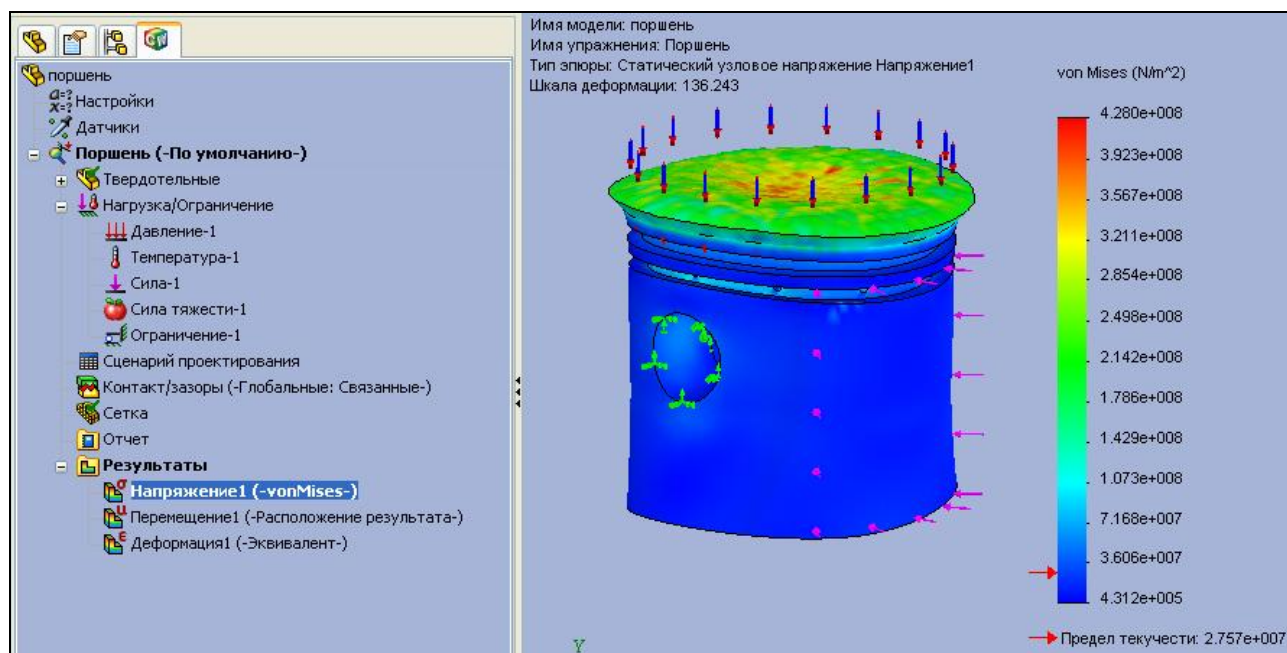


Рис. 3.14. Результаты расчета напряжений по Мизесу

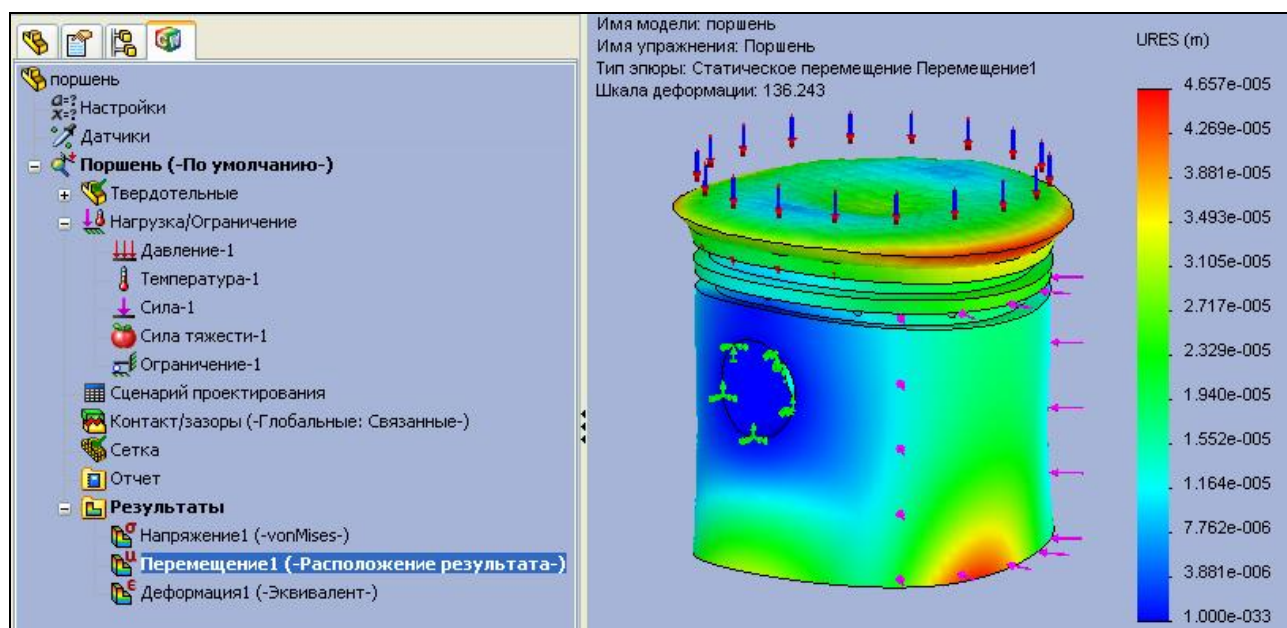


Рис. 3.15. Результаты расчета перемещений

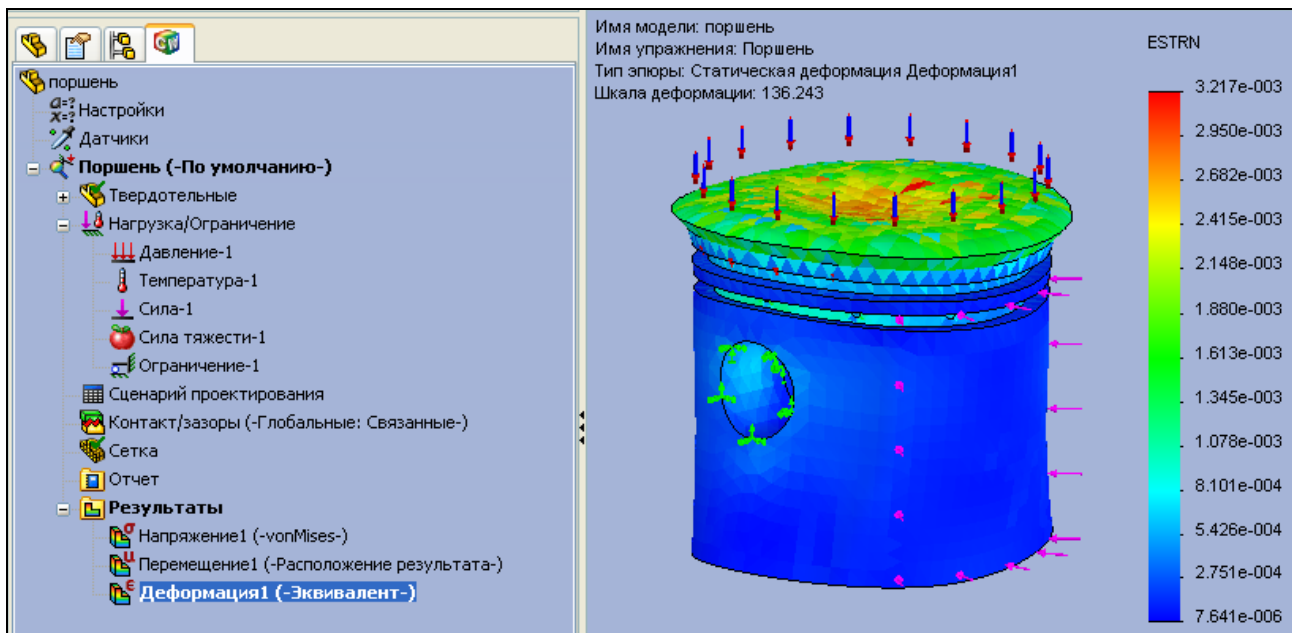




Рис. 3.16. Результаты расчета деформаций

12. Чтобы построить график распределения запаса прочности на модели (рис. 3.17), нажмите кнопку  — **Помощник для проверки проектирования** в панели инструментов **COSMOSWorks – Инструменты результатов** или в главном меню **COSMOSWorks | Инструменты результатов | Помощник для проверки проектирования**. Откроется окно **Проверка проектирования**, в котором требуется задать критерии прочности. После нажатия кнопки  **ОК** будет построена эпюра. Красным цветом на эпюре отмечаются элементы с наименьшим запасом прочности, синим — с наибольшим.

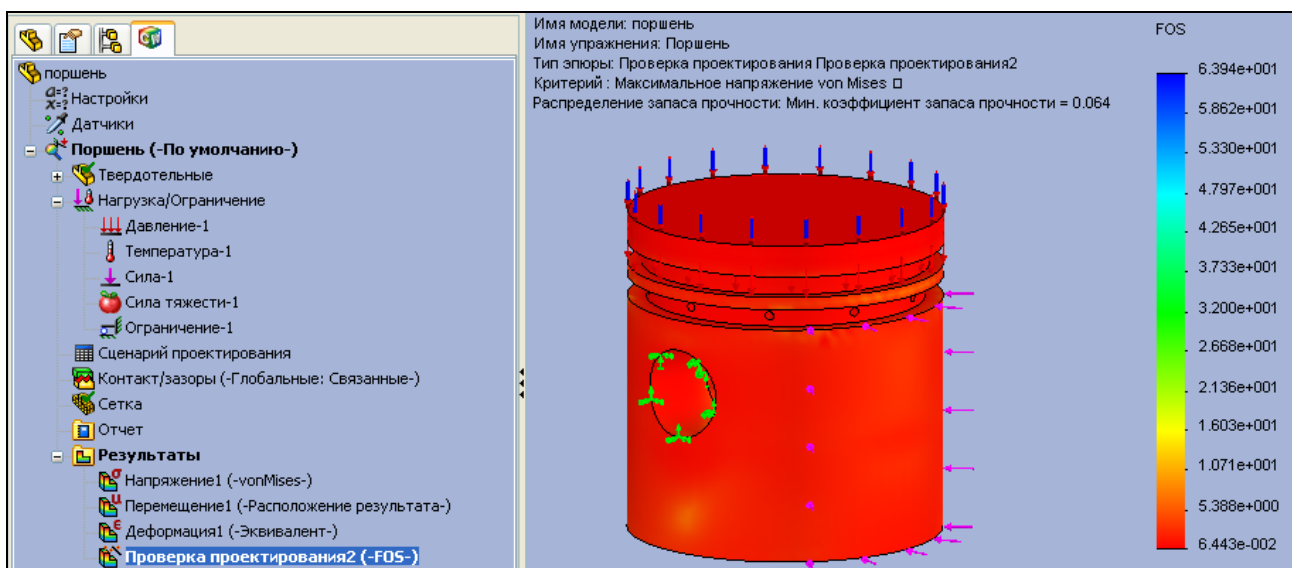




Рис. 3.17. График распределения запаса прочности

13. Чтобы просмотреть результаты напряжений и деформаций внутри материала, необходимо воспользоваться инструментом  — **Ограничение сечения** в панели инструментов **COSMOSWorks – Инструменты результатов** или в главном меню **COSMOSWorks | Инструменты результатов | Ограничение сечения**. После нажатия кнопки откроется диалоговое окно **Сечение** (рис. 3.18), в котором можно задать плоскость, цилиндр или сферу, которые будут рассекаать модель, а также разместить их в требуемом положении. После нажатия кнопки  **ОК** будет построена эпюра с отсеченной моделью и добавлена в папку **Результаты Менеджера COSMOSWorks**.

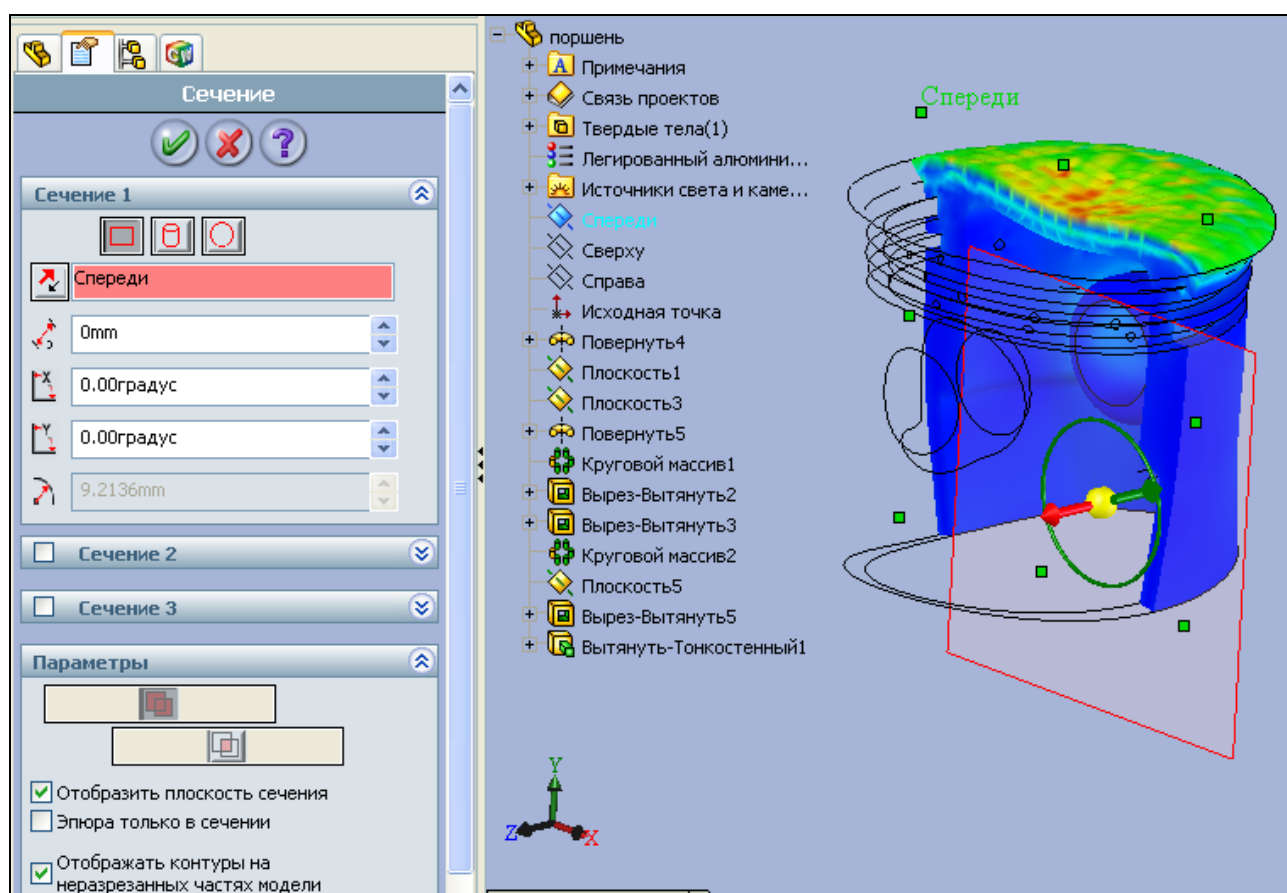



Рис. 3.18. Отсечение модели плоскостью

14. Кроме цветового обозначения напряжений и деформаций необходимо бывает знать и численное значение этих величин в определенных точках модели. Для этого предназначена кнопка  — **Зондирование** в панели инструментов **COSMOSWorks – Инструменты результатов** или в главном меню **COSMOSWorks | Инструменты результатов | Зондирование**. После нажатия кнопки откроется диалоговое окно **Результат зондирования** (рис. 3.19), в котором

будут отображаться результаты значения величин рассматриваемой эпюры в тех точках модели, куда будет указывать курсор мыши в момент нажатия ее левой кнопки. Щелкая мышью по поверхности модели или по секущей плоскости, можно получить значения в любой точке модели. В таблице диалогового окна **Результат зондирования** будут также отображаться координаты узлов относительно глобальной системы координат.

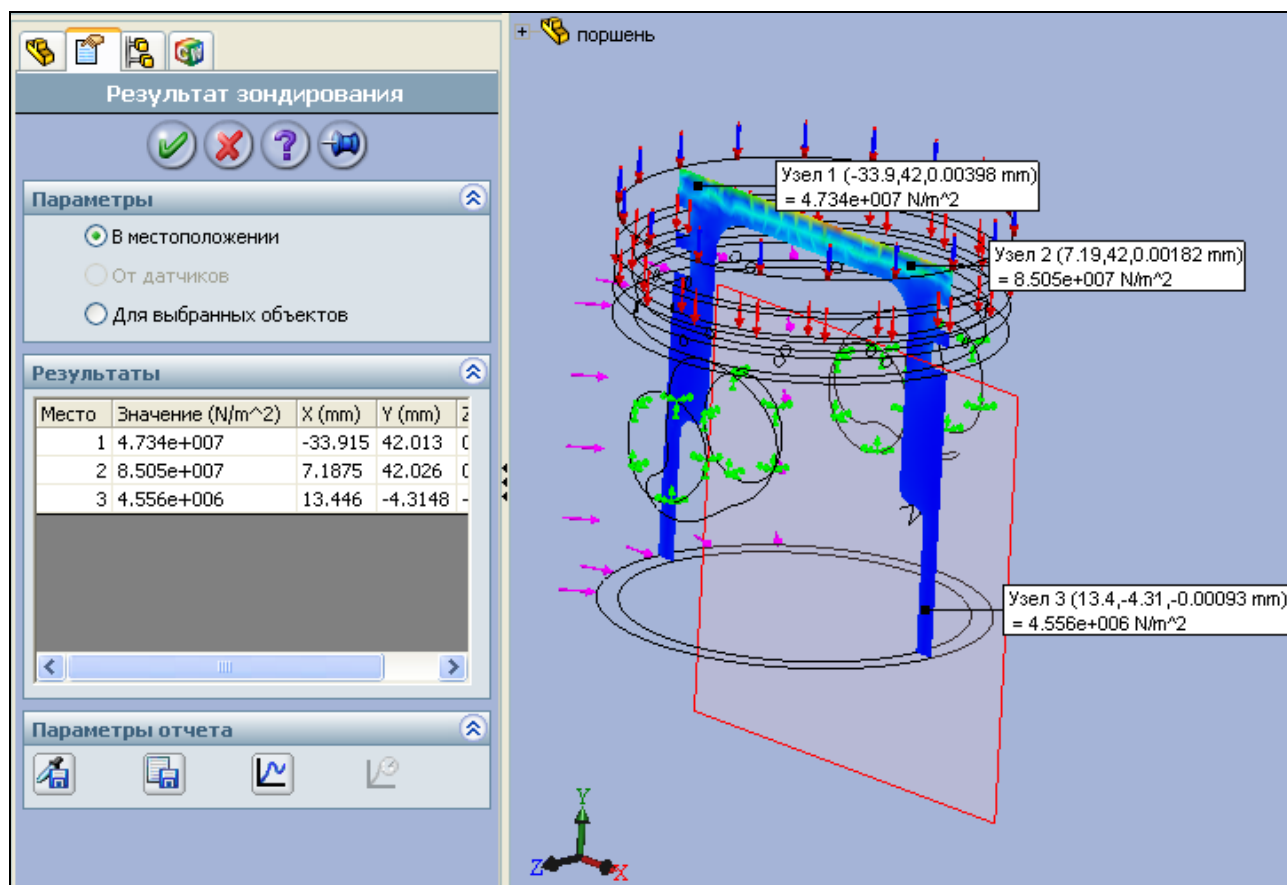



Рис. 3.19. Результат зондирования эпюры

Если таблицу результатов требуется сохранить в файл, то во вкладке **Параметры отчета** нажмите кнопку — **Сохранить**, а если требуется построить график, то нажмите кнопку — **Эпюра**. По окончании работы с инструментом **Зондирование** нажмите кнопку **ОК** и окно **Результаты зондирования** будет закрыто.

Иногда требуется вывести напряжения или деформации во всех узлах определенного элемента модели, например, грани или поверхности. В этом случае необходимо воспользоваться инструментом — **Выбранный список** в панели инструментов **COSMOSWorks – Инструменты результатов** или в главном меню **COSMOSWorks |**

Инструменты результатов | Выбранные элементы. При этом также откроется диалоговое окно **Результаты зондирования**, но теперь в нем требуется выбрать элементы модели и в таблицу будет выведена информация по узлам, принадлежащим выбранным элементам.

15. Иногда требуется вывести только определенные напряжения, которые выделены определенным цветом. В этом случае можно воспользоваться инструментом  — **Ограничение Iso** в панели инструментов **COSMOSWorks – Инструменты результатов** или в главном меню **COSMOSWorks | Инструменты результатов | Ограничение Iso**. При этом откроется диалоговое окно **Изометрия-Ограничение** (рис. 3.20), в котором с помощью ползунка можно выбрать значения параметров, отображаемых на эпюре. Выбор значения можно контролировать по шкале, расположенной справа в графическом окне.

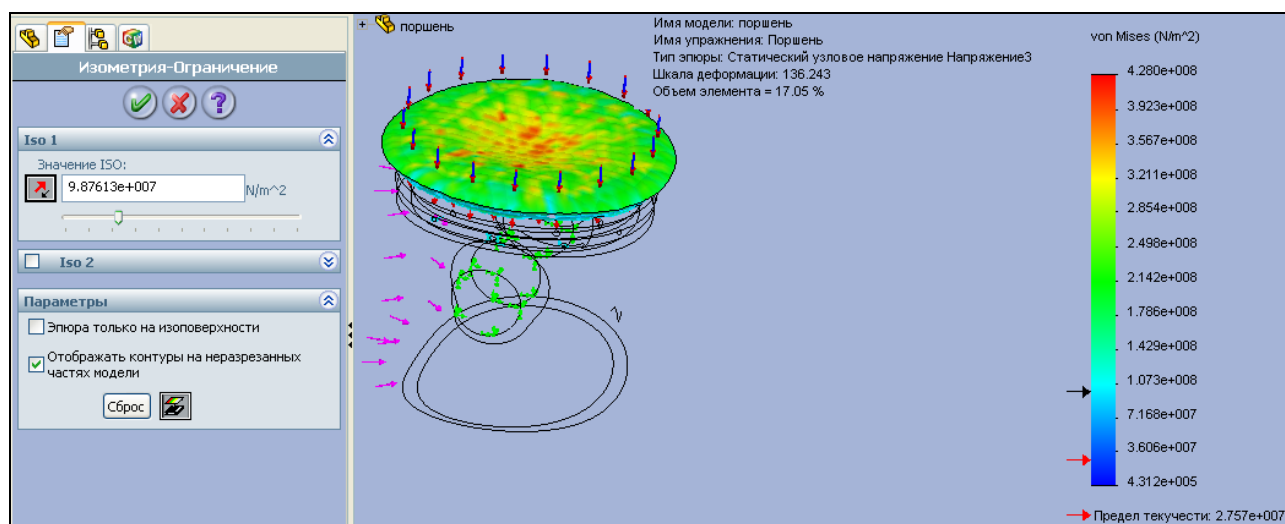




Рис. 3.20. Выбор напряжений определенных значений

16. Если требуется вывести активную эпюру в файл в графическом формате BMP, то нажмите кнопку  — **Сохранить как** в панели инструментов **COSMOSWorks – Инструменты результатов** или в главном меню **COSMOSWorks | Инструменты результатов | Сохранить как**. В открывшемся окне **Сохранить как** задайте имя файла и нажмите кнопку **OK**.

17. COSMOSWorks помогает составить отчет по результатам прочностного расчета. Для этого нажмите кнопку  — **Отчет** в панели инструментов **COSMOSWorks – Инструменты результатов** или в главном меню **COSMOSWorks | Отчет**. Откроется диалоговое

окно **Отчет**, в котором введите текстовую информацию о проекте и нажмите кнопку **ОК**. Программа автоматически сформирует отчет и сохранит его в HTML-формате.

18. По результатам расчета проанализируйте полученные данные:

- определите максимальные напряжения, действующие в материале поршня;
- сравните с допускаемыми напряжениями;
- определите запас прочности поршня;
- сделайте заключение о работоспособности поршня.

19. Определите максимальные напряжения, деформации и запасы прочности в следующих сечениях поршня:

- в днище поршня;
- в поршневой кольцевой перемычке;
- в сечении поршня, ослабленном каналами для отвода масла;
- в юбке поршня.

20. Защита лабораторной работы заключается в ответе студента на вопросы для контроля и дополнительные вопросы преподавателя.

3.4. Требования к содержанию и оформлению отчета

Результаты расчета оформляются в виде HTML-страницы с указанием опасных сечений детали и выводом максимальных и минимальных напряжений, действующих в материале.

3.5. Вопросы для контроля

1. Какие нагрузки действуют на поршень во время работы ДВС?

2. Какие материалы используются для изготовления поршней?

3. Какие элементы поршня испытывают наибольшие напряжения?

4. Какие напряжения испытывает днище поршня?

5. Какие напряжения испытывает сечение поршня на уровне канавки для маслосъемного кольца, ослабленное отверстиями для отвода масла?

6. Какие напряжения испытывает верхняя кольцевая перемычка поршня?

7. Для чего определяются монтажные зазоры между стенками цилиндра и поршнем в холодном состоянии?

4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. РАСЧЕТ КОЛЬЦА

4.1. Цель работы

Целью работы является получения навыков назначения нагрузок на поршневое компрессионное кольцо, задания граничных условий и проведения прочностного расчета кольца методом конечных элементов в COSMOSWorks, а также повышение уровня компетенций в области расчета теплонпряженного состояния поршневого кольца.

4.2. Порядок выполнения работы

В процессе выполнения работы необходимо рассмотреть условия работы поршневого кольца ДВС и определить нагрузки на его элементы. Для выполнения расчета потребуются следующие нагрузки на кольцо:

- давление упругости поршневого кольца на стенку цилиндра и ее реакцию от стенки;
- давление поршневых газов P_z на верхнюю кромку кольца и ее реакцию от поршневой перемычки;
- температурная нагрузка на кольцо;
- усилие при одевании кольца на поршень;
- максимальная инерционная сила P_j , действующая на поршневое кольцо;
- ограничение (фиксация) кольца в сечении напротив замка.

Прочностной расчет поршневого кольца в COSMOSWorks выполняется в следующем порядке:

1. Запустите программу SolidWorks, загрузите или постройте модель поршневого кольца (рис. 4.1).

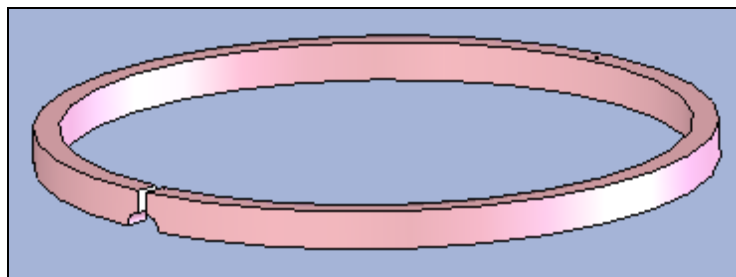


Рис. 4.1. Геометрическая модель поршневого кольца

2. Задайте материал поршневого кольца, если он не был задан раньше. Задание материала описано в п. 2 разд. 3.2.

3. Создайте новое **Упражнение** для анализа так, как указано в п. 3 разд. 3.2.

4. Теперь перейдем к заданию нагрузок. Сначала задайте давление упругости поршневого кольца на стенку цилиндра и ее реакцию от стенки (это давление необходимо получить из конструкторского расчета кольца). Для этого воспользуйтесь инструментом, указанным в п. 4 разд. 3.2. Давление задайте на поверхность кольца со стороны цилиндра и на поршневое кольцо изнутри (рис. 4.2).

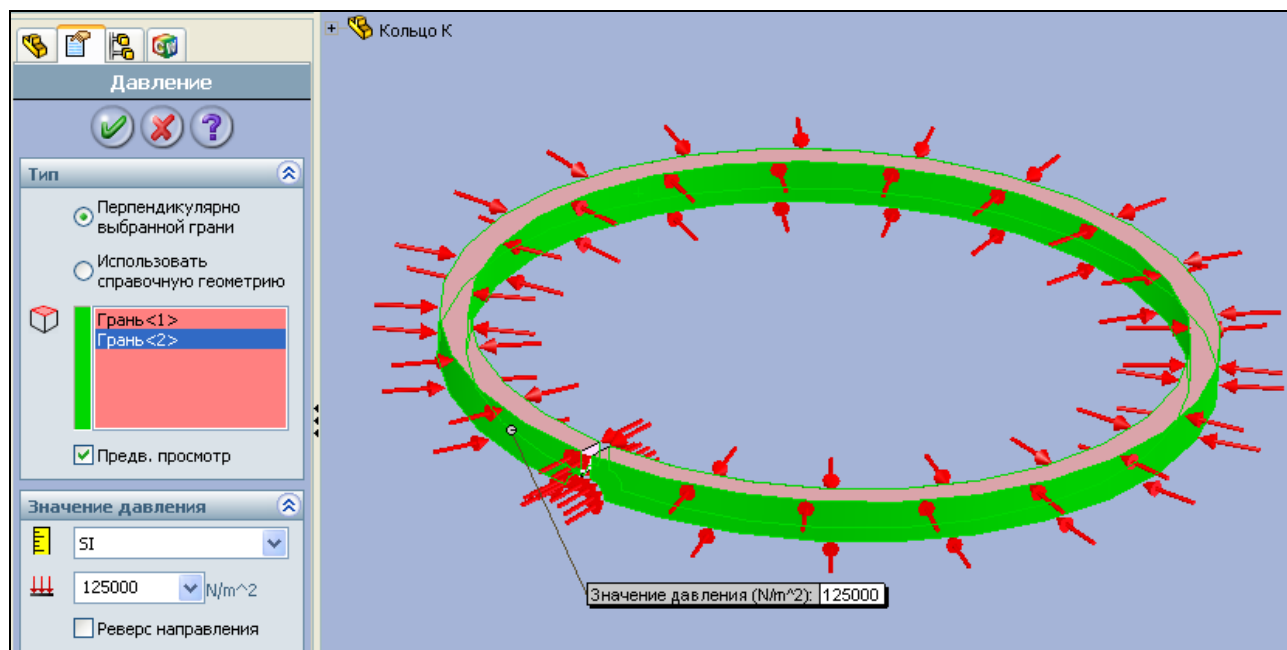


Рис. 4.2. Задание давления упругости и реакции от цилиндра

5. Далее задайте давление поршневых газов P_2 на верхнюю кромку кольца и ее реакцию от поршневой перемычки (это давление необходимо взять из теплового расчета). Для задания давления воспользуйтесь тем же инструментом, указанным в п. 4 разд. 3.2. Давление задайте на поверхность кольца сверху и снизу (рис. 4.3).

6. Температурную нагрузку на поршневое кольцо задайте с помощью инструмента, приведенного в п. 5 разд. 3.2. Поскольку через кольцо осуществляется охлаждение поршня, то соответственно через него проходит тепловой поток, поэтому температуру как нагрузку прикладывают ко всем граням поршневого кольца (рис. 4.4).

7. Максимальную инерционную силу P_j , действующую на поршневое кольцо, задайте с помощью максимального ускорения (получить из кинематического расчета КШМ). Задание ускорения проведите по методике, указанной в п. 7 разд. 3.2.

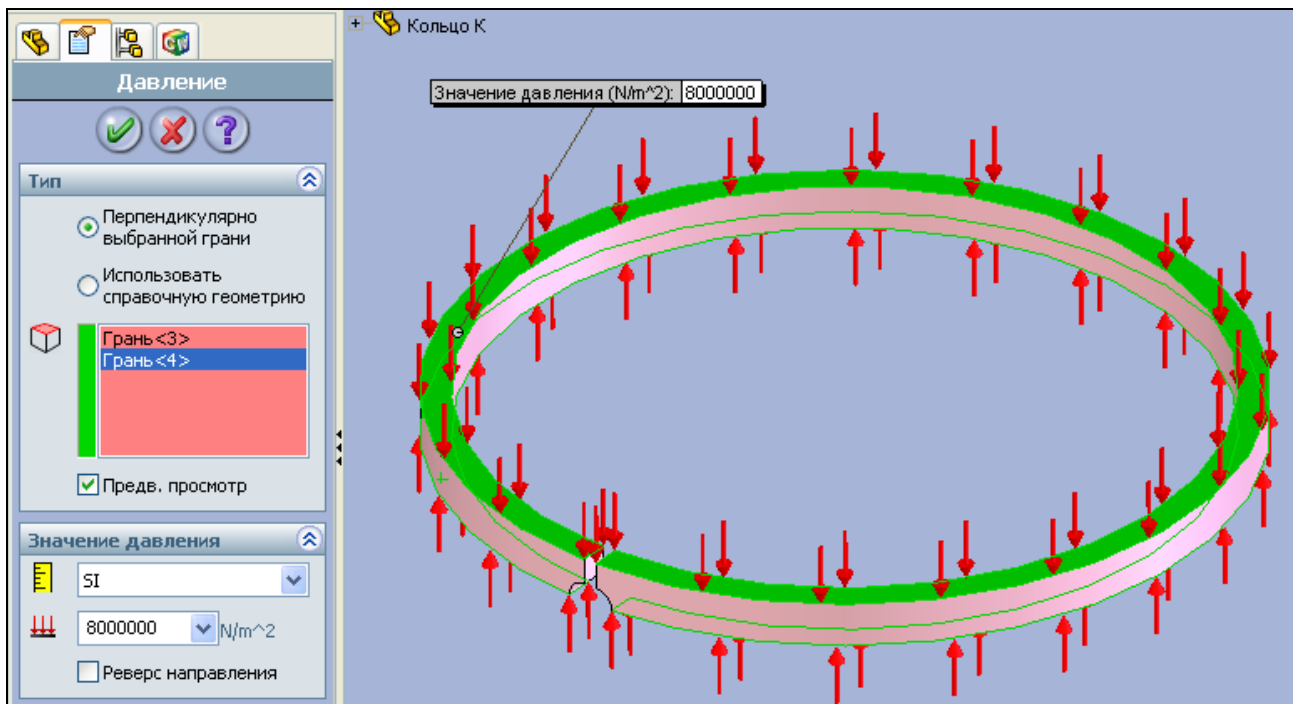


Рис. 4.3. Задание давления газов и реакции от перемычки поршня

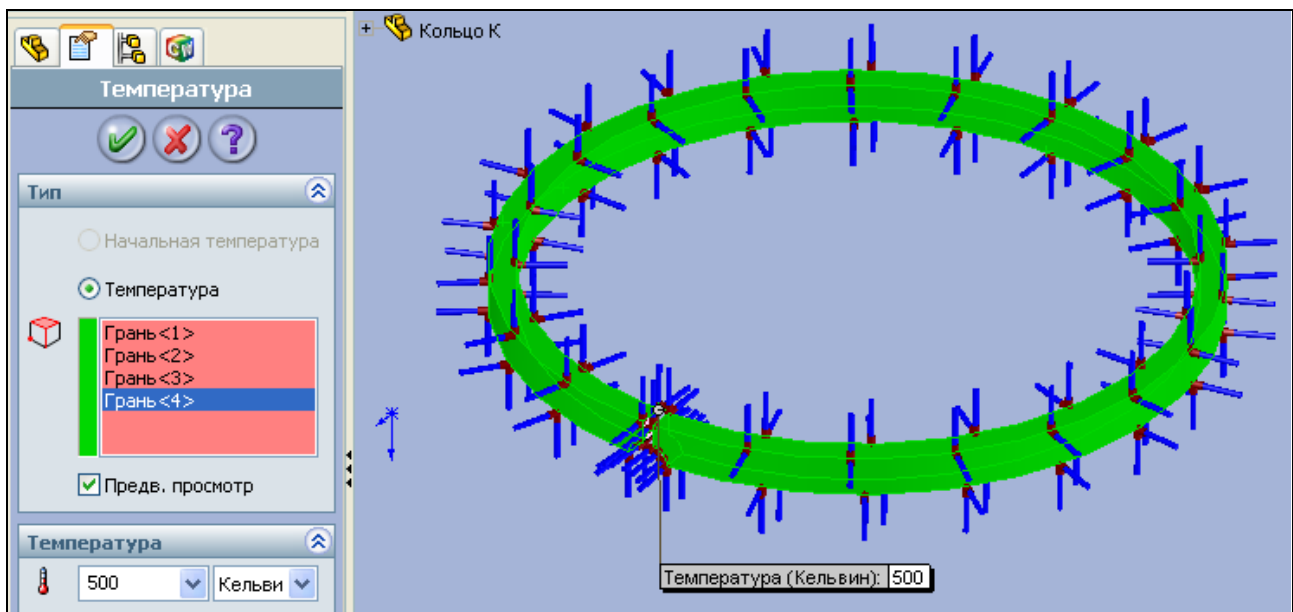


Рис. 4.4. Задание тепловой нагрузки на кольцо

8. Ограничение (фиксацию) кольца в сечении напротив замка будем проводить по методике, приведенной в п. 6 разд. 3.2. Для этого на кольце создадим небольшую площадку напротив замка кольца и зафиксируем ее. На плоскости, проходящей через замок кольца, создайте новый эскиз и постройте эскиз линии так, как показано на рис. 4.5. Затем произведите вытягивание этой линии.

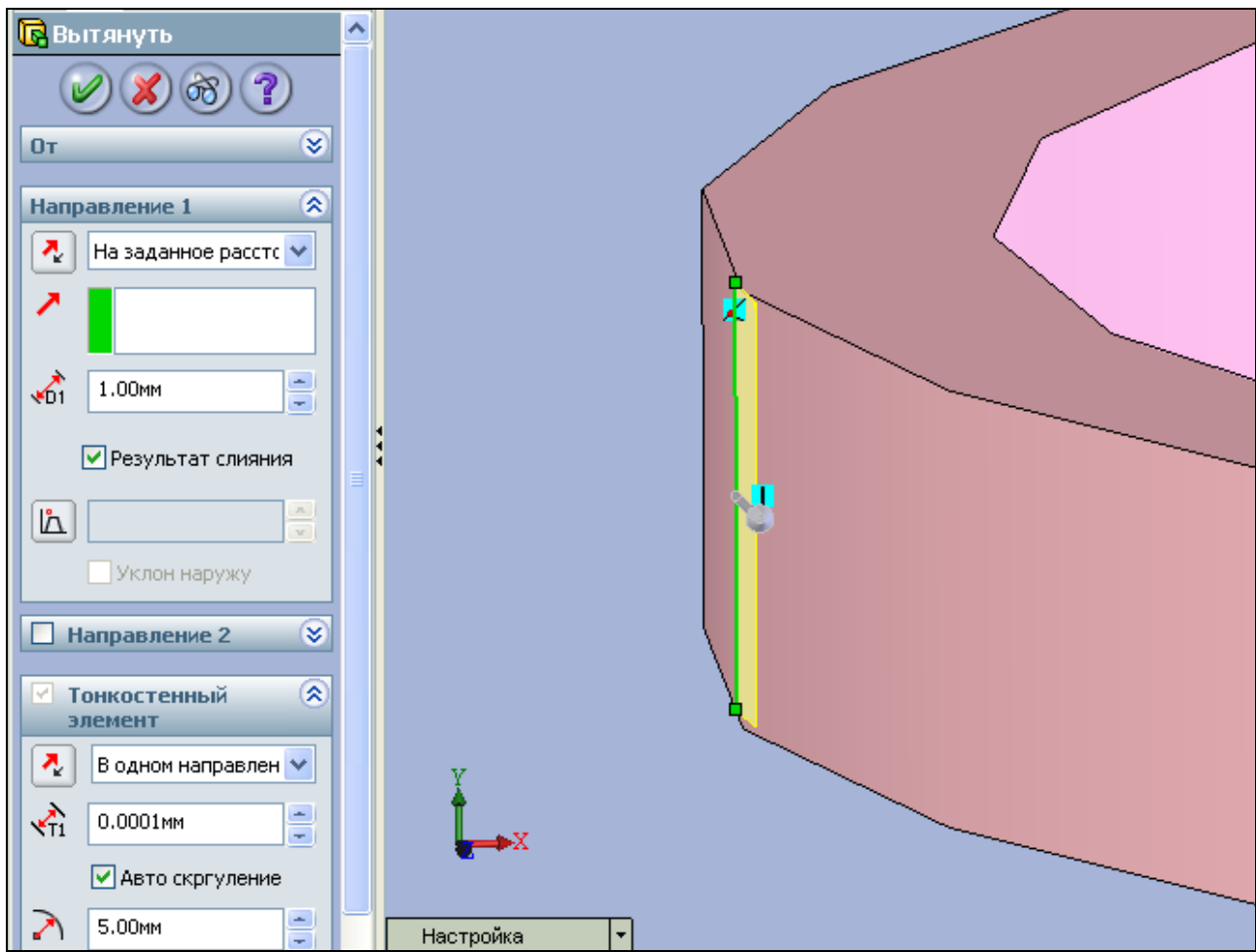


Рис. 4.5. Создание площадки для фиксации

Толщина площадки составляет примерно 1 мм и должна быть направлена внутрь материала, а длина должна быть достаточной для выбора мышью в графической области, например, также 1 мм. Далее воспользуйтесь инструментом, показанным в п. 8 разд. 3.2, и задайте граничное условие ограничения на созданную площадку (рис. 4.6).

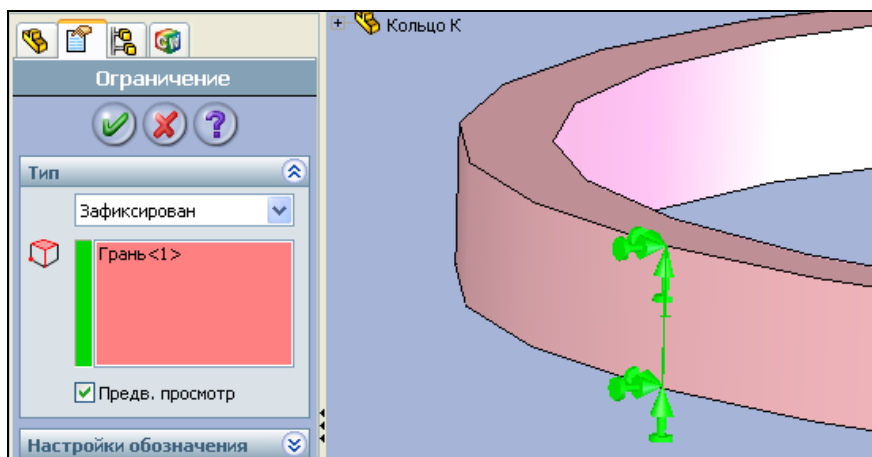


Рис. 4.6. Задание ограничение

9. Теперь все готово к проведению прочностного расчета. Но сначала следует определиться, что мы хотим получить в процессе расчета. Анализируя вышезаданные нагрузки можно увидеть, что часть нагрузок компенсируется и только температурная нагрузка существенно повлияет на деформацию кольца – оно будет удлиняться. Но давайте проанализируем применение кольца в ДВС. Кольцо, показанное на рис. 4.1, имеет вид уже установленного кольца в цилиндре двигателя, то есть оно сжато. Поскольку поршневое кольцо имеет упругость, то в свободном состоянии оно имеет больший диаметр, чем установленное кольцо. Таким образом, при установке кольца в цилиндр, оно несколько сжимается и в нем возникают напряжения изгиба. Так как кольцо на рис. 4.1 имеет исходное ненапряженное состояние, то для того, чтобы определить действующие изгибающие напряжения, можно поступить методом «от противного» – задать некоторую разжимающую силу на торцы замка, чтобы кольцо приняло форму свободного кольца и провести расчет. При этом необходимо будет провести несколько расчетов, чтобы подобрать эту силу.

Рассматриваемое кольцо в свободном состоянии имеет расстояние между торцами 13 мм (это расстояние необходимо взять из конструкторского расчета). Теперь зададим на торцы кольца предварительную разжимающую силу (рис. 4.7).

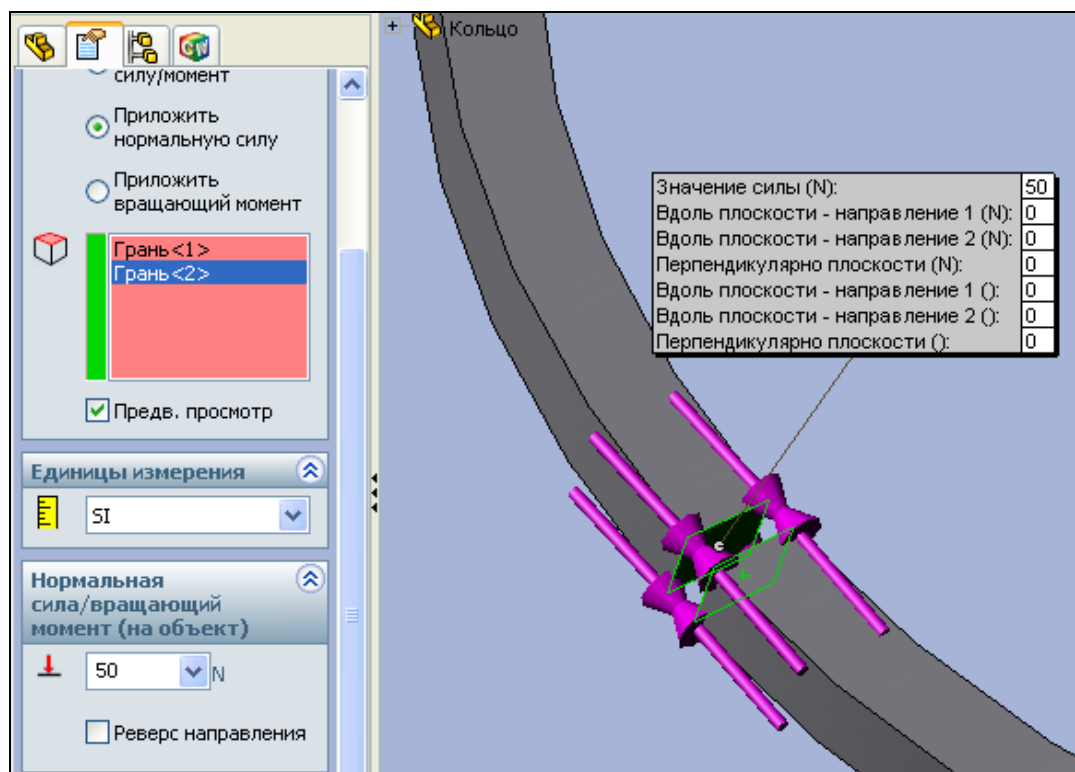


Рис. 4.7. Задание разжимающей силы

10. Теперь проведите прочностной расчет рабочего состояния поршневого кольца по методике, приведенной в пп. 9 и 10 разд. 3.2. В процессе расчета программа может сообщить (рис. 4.8), что в модели имеются слишком большие перемещения и предложит прекратить расчет. Нажмите кнопку **Нет** и продолжите расчет.

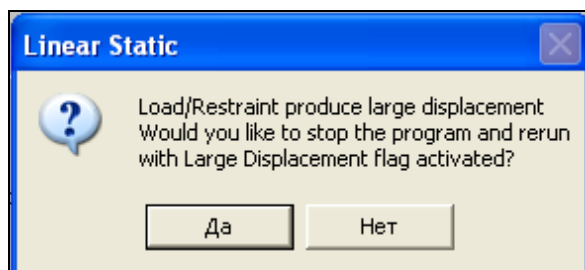


Рис. 4.8. Сообщение об ошибке в случае больших перемещений

11. После успешного расчета проведите анализ напряженного состояния модели с просмотром эпюр (рис. 4.9). Как строить эпюры, показано в пп. 11-17 разд. 3.2. Если расстояние между торцами в замке кольца оказалось больше или меньше расчетного (конструкторского), то подкорректируйте разжимающую силу и вновь проведите расчет.

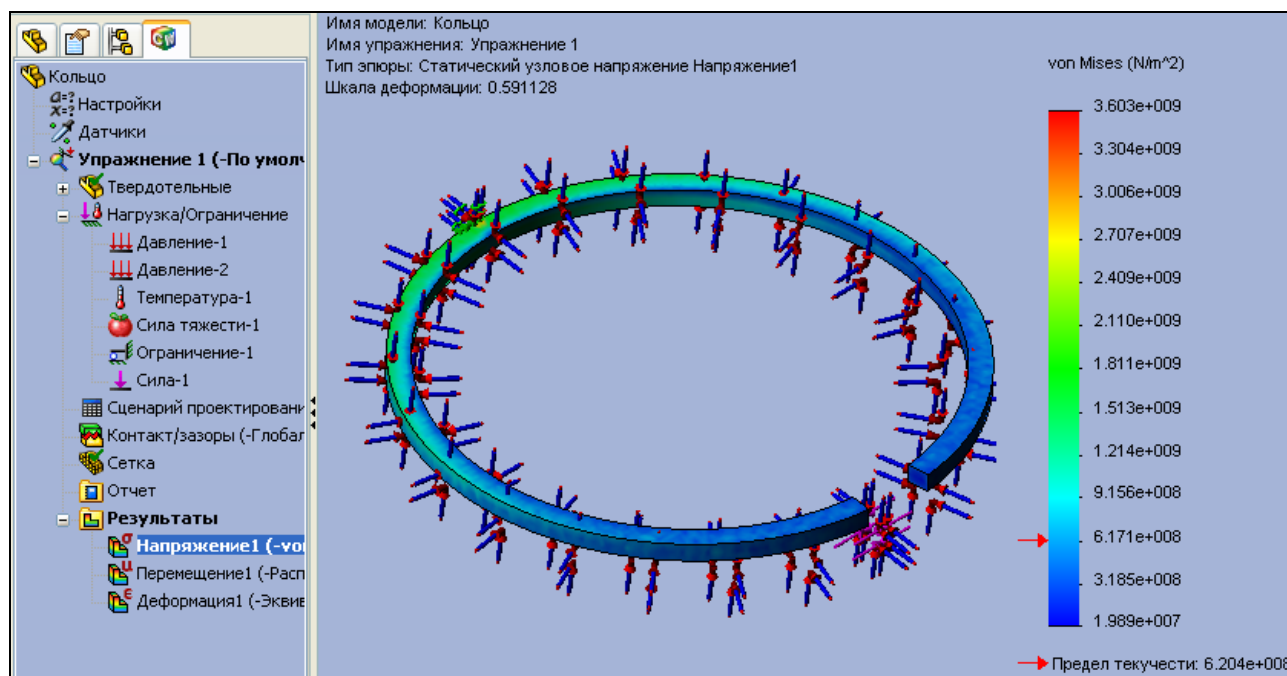


Рис. 4.9. Результат расчета поршневого кольца

12. Вторым напряженным режимом, испытываемым кольцом, является надевание кольца на поршень, так как необходимо разжать

кольцо до гораздо большего расстояния между торцами кольца. Величина этого расстояния также является конструкторской величиной. Чтобы быть уверенным, что кольцо в процессе надевания не сломается (что часто бывает у колец из чугуна), необходимо провести прочностной расчет. Для этого необходимо изменить разжимающую силу, заданную в п. 9 разд. 4.2. Остальные нагрузки можно погасить, так как в процессе надевания кольца они не действуют. Требуется снова расчетным способом подобрать эту силу, но уже для такого расстояния между торцами замка кольца, при котором это кольцо можно надеть на поршень. При расчете напряжения в режиме надевания кольца необходимо учитывать, что расчет ведется от исходного (сжатого) положения кольца, поэтому чтобы определить действующие напряжения в момент надевания кольца, нужно взять напряжения, полученные расчетом для режима надевания, и вычесть напряжения, полученные расчетом для свободного состояния кольца.

13. По результатам расчета проанализируйте полученные данные:

- определите максимальные напряжения, действующие в материале поршневого кольца для двух режимов работы;
- сравните с допускаемыми напряжениями;
- определите запас прочности поршневого кольца;
- сделайте заключение о работоспособности поршневого кольца.

14. Определите максимальные напряжения, деформации и запасы прочности в следующих сечениях поршневого кольца:

- в сечении поршневого кольца, напротив его замка в рабочем состоянии и при надевании его на поршень;
- на торце поршневого кольца в двух режимах.

15. Защита лабораторной работы заключается в ответе студента на вопросы для контроля и дополнительные вопросы преподавателя.

4.3. Требования к содержанию и оформлению отчета

Результаты расчета оформляются в виде HTML-страницы с указанием опасных сечений детали и выводом максимальных и минимальных напряжений, действующих в материале. Порядок вывода отчета в COSMOSWorks показан в п.17 раздела 3.3.

4.4. Вопросы для контроля

1. Назовите основные функции поршневых колец.
2. Из каких материалов изготавливают современные поршневые компрессионные и маслосъемные кольца?
3. Какие нагрузки действуют на поршневое компрессионное кольцо при работе ДВС?
4. Какие два типа поршневых колец обычно используются в современных двигателях внутреннего сгорания?
5. Для чего определяют среднее давление поршневого кольца на стенку цилиндра?
6. Для чего повышают давление поршневого кольца на стенку цилиндра около замка?
7. В каком сечении поршневое кольцо рассчитывают на изгиб?
8. При каких условиях поршневое кольцо рассчитывают на изгиб?

5. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. РАСЧЕТ ПОРШНЕВОГО ПАЛЬЦА

5.1. Цель работы

Целью работы является получения навыков назначения нагрузок на поршневой палец, задания граничных условий и проведения прочностного расчета пальца методом конечных элементов в COSMOS-Works, а также повышение уровня компетенций в области расчета теплонапряженного состояния поршневого пальца.

5.2. Порядок выполнения работы

В процессе выполнения работы необходимо рассмотреть условия работы поршневого пальца ДВС и определить нагрузки на его элементы. Для выполнения расчета потребуются следующие нагрузки на палец:

- нагрузка от поршневой головки шатуна (распределенная нагрузка). Силу необходимо получить из динамического расчета КШМ;
- максимальная инерционная сила, действующая на поршневой палец. Сила задается с помощью ускорения, получаемого из кинематического расчета КШМ;
- сила на поршневой палец со стороны бобышек поршня, заданная с помощью ограничения (фиксации).

Прочностной расчет поршневого пальца в COSMOSWorks выполняется в следующем порядке:

1. Запустите программу SolidWorks, загрузите или постройте модель поршневого пальца (рис. 5.1).

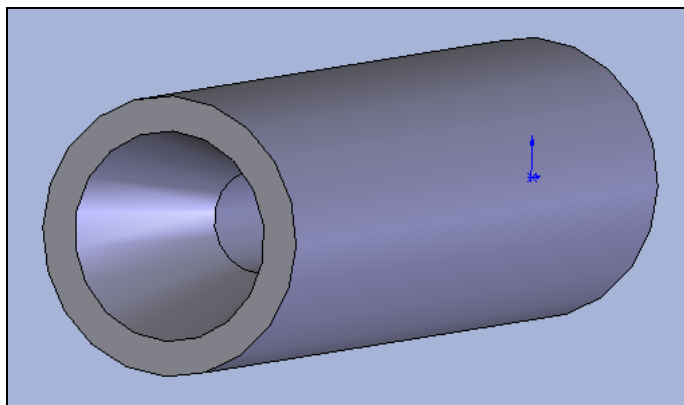





Рис. 5.1. Геометрическая модель поршневого пальца

2. Задайте материал поршневого пальца, если он не был задан

раньше. Задание материала описано в п. 2 разд. 3.2.

3. Создайте новое **Упражнение** для анализа так, как указано в п. 3 разд. 3.2.

4. Теперь перейдем к заданию нагрузок. Зададим нагрузку на поршневой палец со стороны шатуна. Эту силу необходимо взять из динамического расчета КШМ. Поскольку в каждый момент времени шатун воздействует только на часть поверхности поршневого пальца, то необходимо обозначить эту поверхность. Для этого перейдем в режим построения геометрической модели и создадим вспомогательную плоскость посередине поршневого пальца, выбрав инструмент  — **Плоскость** в панели инструментов **Справочная геометрия** или в главном меню **Вставка | Справочная геометрия | Плоскость**. Откроется диалоговое окно **Плоскость** (рис. 5.2). Сначала щелкните мышью на левый торец пальца. Появится вспомогательная плоскость, очерченная желтым контуром. Затем щелкните по кнопке **Расстояние смещения**  и в окне Расстояние задайте величину, равную половине длины поршневого пальца (в данном случае 24 мм). Если плоскость появилась левее поршневого пальца, то установите флажок у параметра **Реверс направления**. Проверьте корректность задания всех параметров и нажмите кнопку  **ОК**. Появится новая плоскость **Плоскость1**.

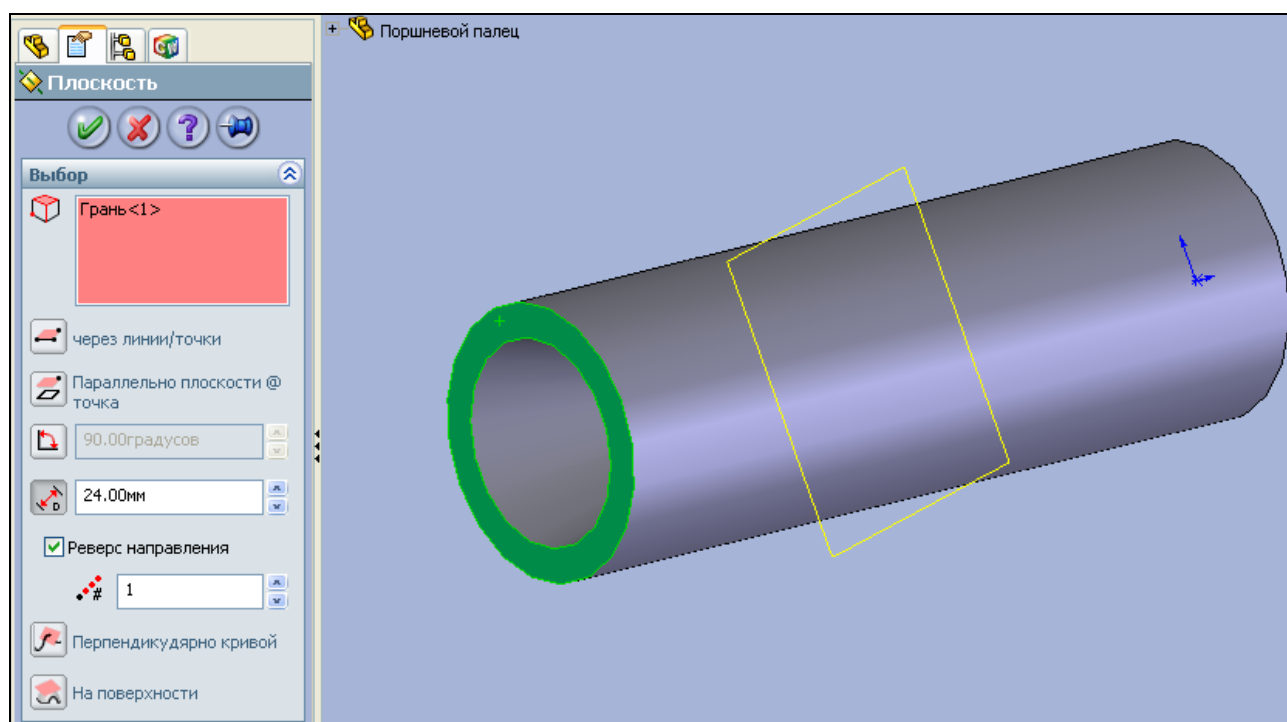


Рис. 5.2. Создание вспомогательной плоскости

Теперь на вновь созданной плоскости откройте эскиз и нарисуйте полуокружность так, как показано на рис. 5.3.

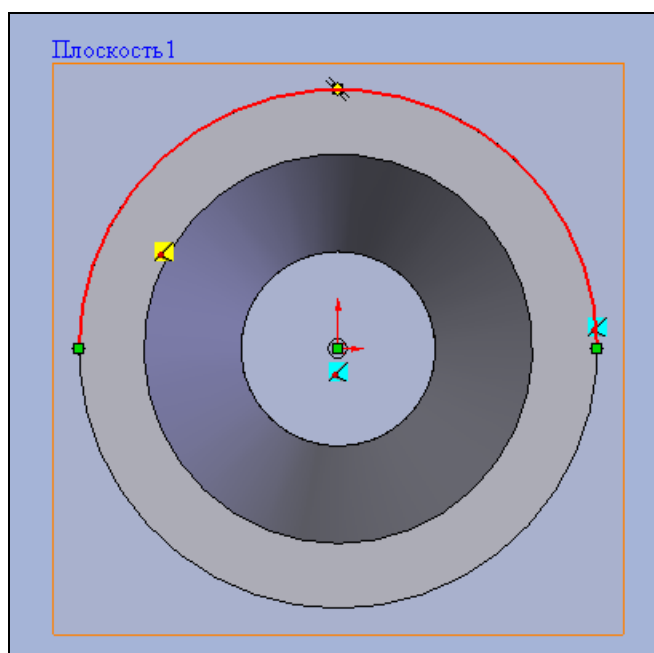







Рис. 5.3. Эскиз полуокружности

Затем, не выходя из режима рисования эскиза, переключите панель инструментов **Эскиз** на панель **Элементы**, нажав кнопку .

В этой панели выберите инструмент  — **Вытянутая бобышка/основание**. Программа автоматически выберет редактируемый эскиз и попытается его вытянуть. Поскольку эскиз дуги является незамкнутым, то он будет интерпретироваться как тонкостенный элемент. С помощью кнопки  — **Реверс направления** в области **Тонкостенный элемент** диалогового окна **Вытянуть** добейтесь того, чтобы направление натяжения материала происходило наружу (рис. 5.4). Установите толщину вытягивания 0.0001 мм (минимальная толщина натяжения).

Далее установите флажок в области **Направление2** и с помощью стрелок или окон **Глубина**  и  произведите натяжение материала вдоль поршневого пальца. Вытягивание необходимо производить в обе стороны от построенной плоскости на величину толщины поршневой головки шатуна. То есть если толщина головки составляет 16 мм, то вытягивание нужно произвести на 8 мм в обе стороны (см. рис. 5.4).

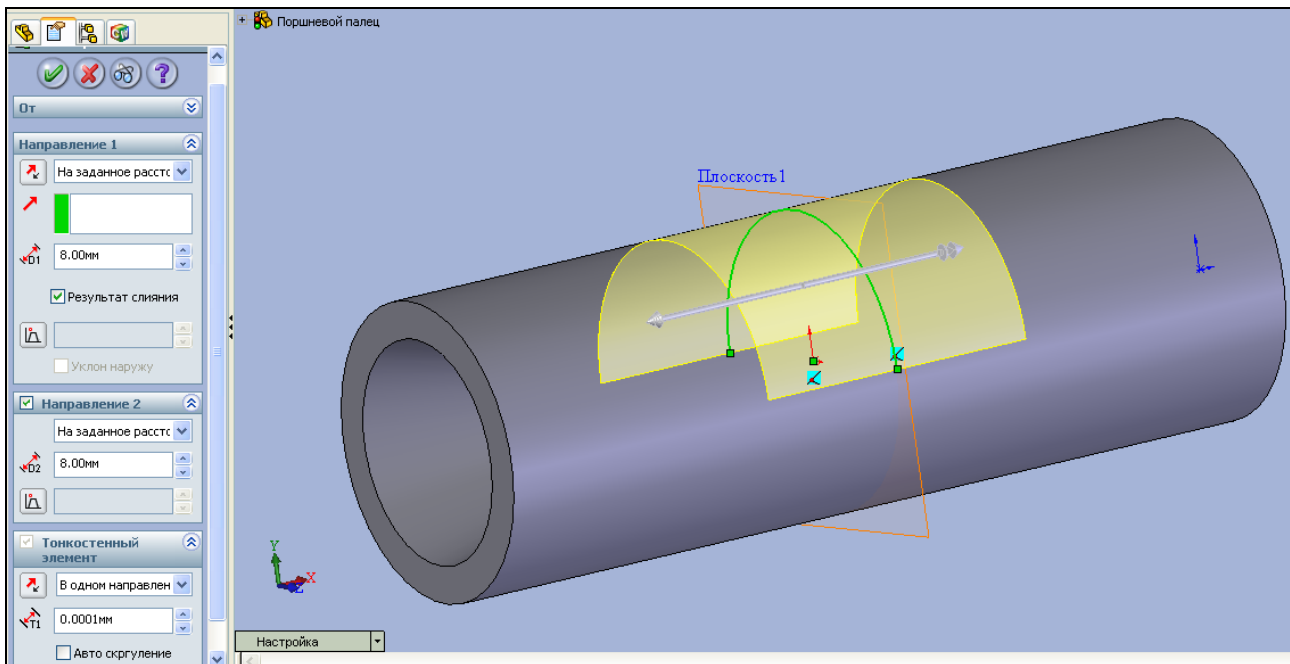




Рис. 5.4. Вытягивание полуокружности

Проверьте корректность задания всех параметров и нажмите кнопку  **ОК**. Теперь можно задать усилие от поршневой головки шатуна S на поршневой палец на только что построенную зону (эту силу необходимо получить из динамического расчета кривошипно-шатунного механизма двигателя). Для этого перейдите в режим расчета на прочность и нажмите на кнопку  — **Сила** в панели инструментов **COSMOSWorks** – **Нагрузки** или пройдите путь в главном меню **COSMOSWorks** | **Нагрузки/Ограничение** | **Сила**. Откроется диалоговое окно **Сила**, показанное на рис. 5.5.

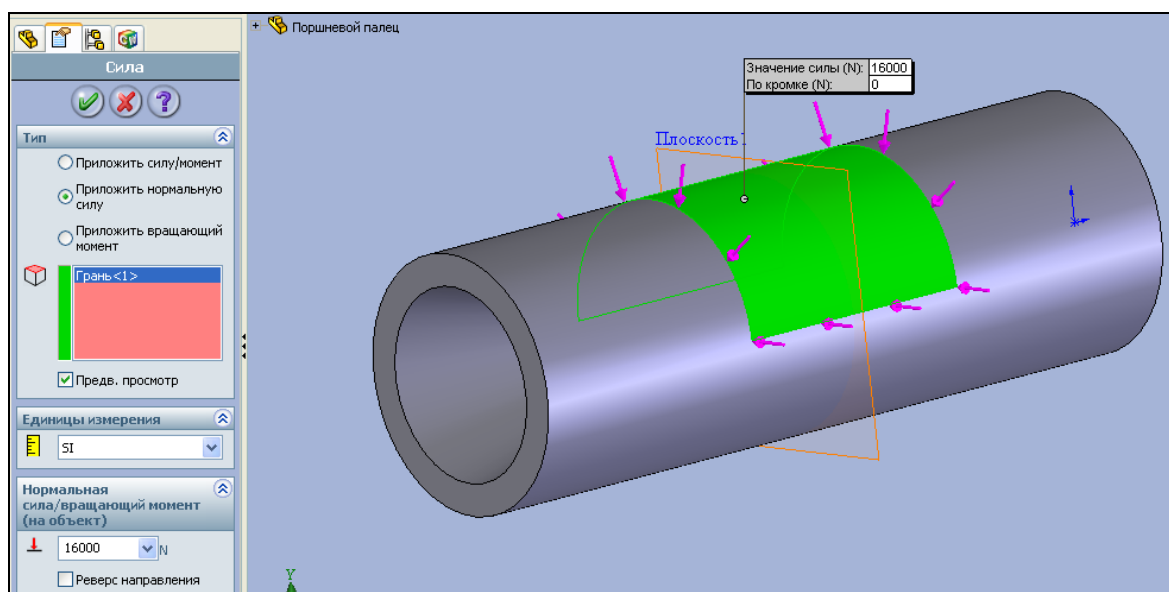






Рис. 5.5. Задание силы от шатуна

Сначала установите переключатель в положение **Приложить нормальную силу**, затем щелкните мышью в области **Грани для нормальной силы**  и далее укажите грань построенной зоны поршневого пальца (**Грань<1>**) (см. рис. 5.5). В области  — **Значение силы** задайте величину силы, например, 16000 Н (максимальная величина силы от шатуна S из динамического расчета). После задания всех параметров нажмите кнопку  **ОК**.

5. Теперь перейдем к заданию ограничения. Зададим ограничения на поршневой палец в месте соединения с бобышками поршня. Поскольку в каждый момент времени поршень воздействует только на часть поверхности поршневого пальца, то необходимо обозначить эту поверхность. Для этого перейдем в режим построения геометрической модели. Сначала щелкните мышью на левый торец пальца и создайте на нем новый эскиз. Затем постройте полуокружность с противоположной стороны от полуокружности, построенной в п. 4. После построения эскиза произведите его вытягивание на величину ширины бобышки (рис. 5.6). После задания всех параметров нажмите кнопку  **ОК**.

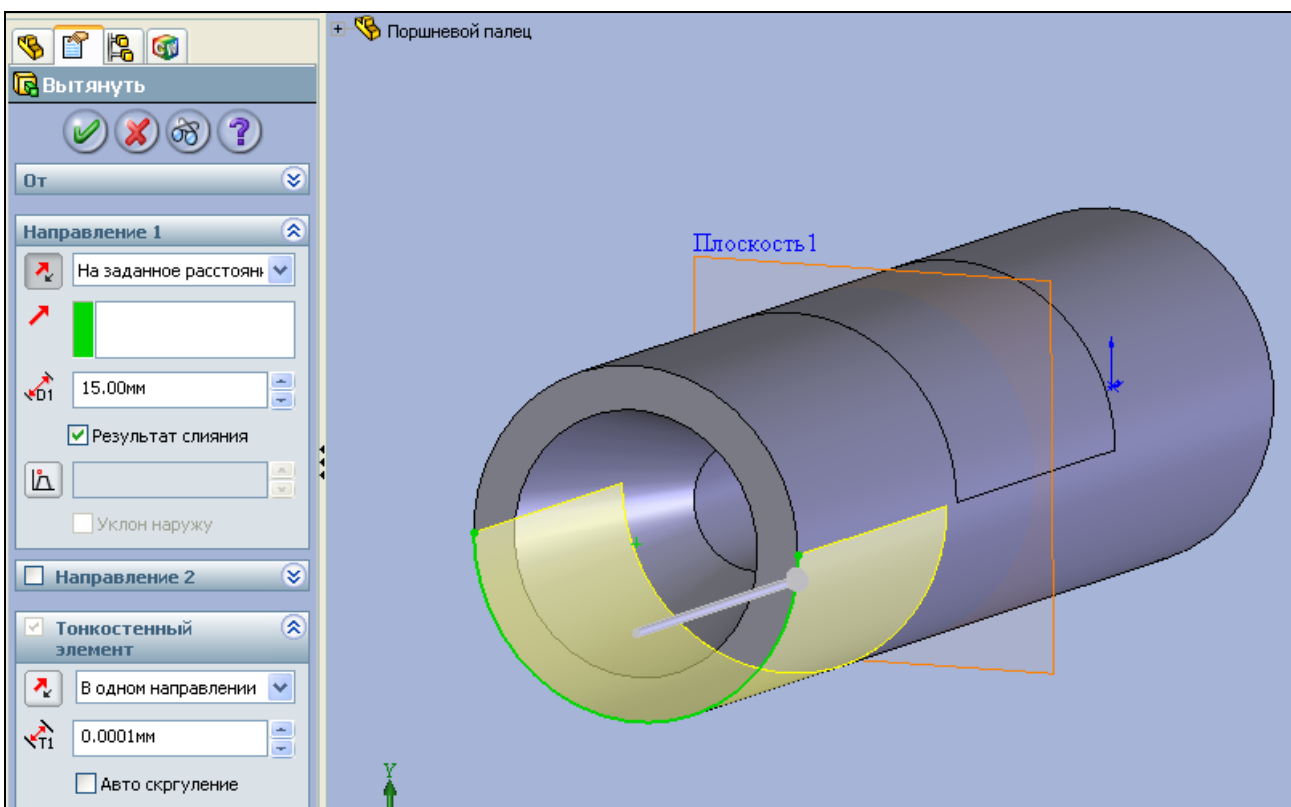


Рис. 5.6. Вытягивание полуокружности для фиксации

Постройте аналогичную поверхность с другой стороны поршневого пальца (рис. 5.7).

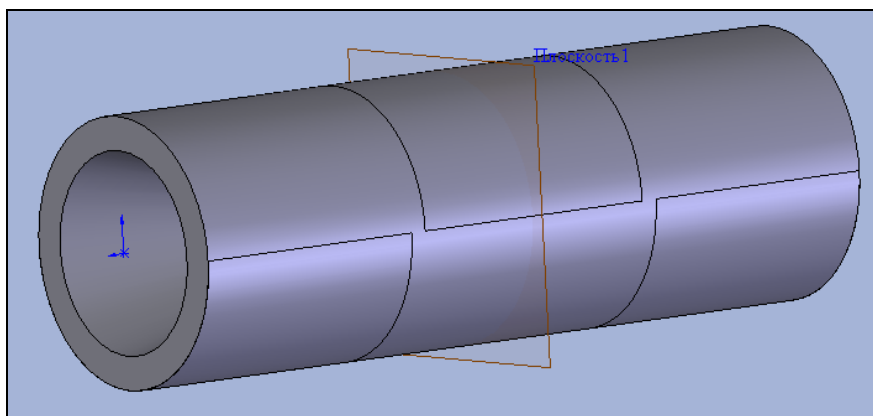



Рис. 5.7. Задание зон для фиксации

Осталось задать силу, действующую от бобышек поршня на поршневой палец. Но поскольку при рассмотрении детали вне связи с другими деталями сумма всех сил на эту деталь должна быть равна 0, то вместо задания силы от бобышек можно просто закрепить места передачи усилия (граничное условие ограничения). Для этого перейдите в режим прочностного расчета и нажмите на кнопку  — **Ограничения** в панели инструментов **COSMOSWorks – Нагрузки** или пройдите путь в главном меню **COSMOSWorks | Нагрузки/Ограничение | Ограничения**. Откроется диалоговое окно **Ограничение**, показанное на рис. 5.8.

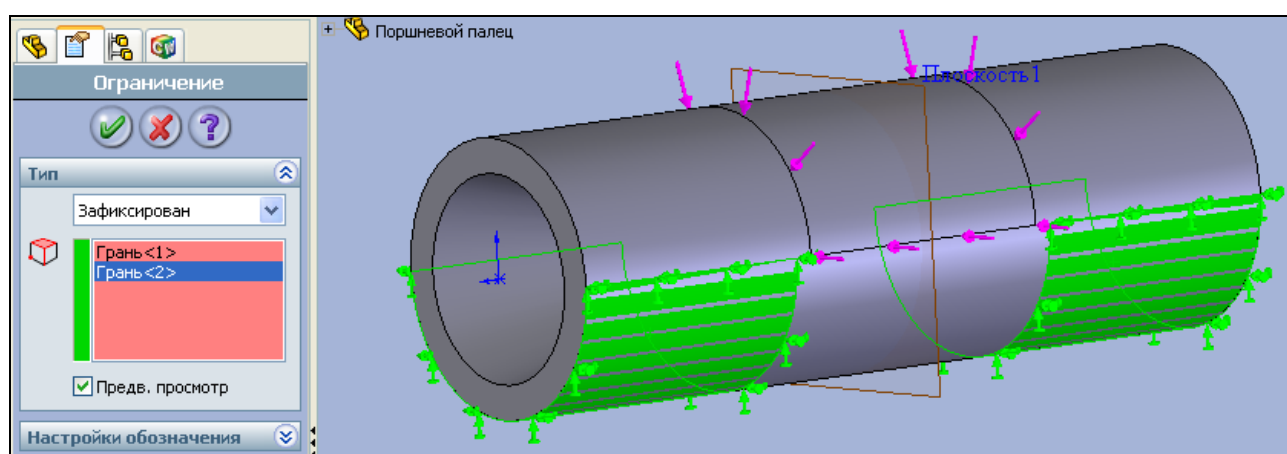




Рис. 5.8. Задание граничного условия ограничения

Выберите мышью построенные зоны для ограничения и нажмите кнопку  **ОК**.

6. Теперь зададим инерционную нагрузку на поршневой палец. Для этого нажмите на кнопку  — **Сила тяжести** в панели инструментов **COSMOSWorks – Нагрузки** или пройдите путь в главном меню **COSMOSWorks | Нагрузки/Ограничение | Сила тяжести**. Откроется диалоговое окно **Сила тяжести**, показанное на рис. 5.9.

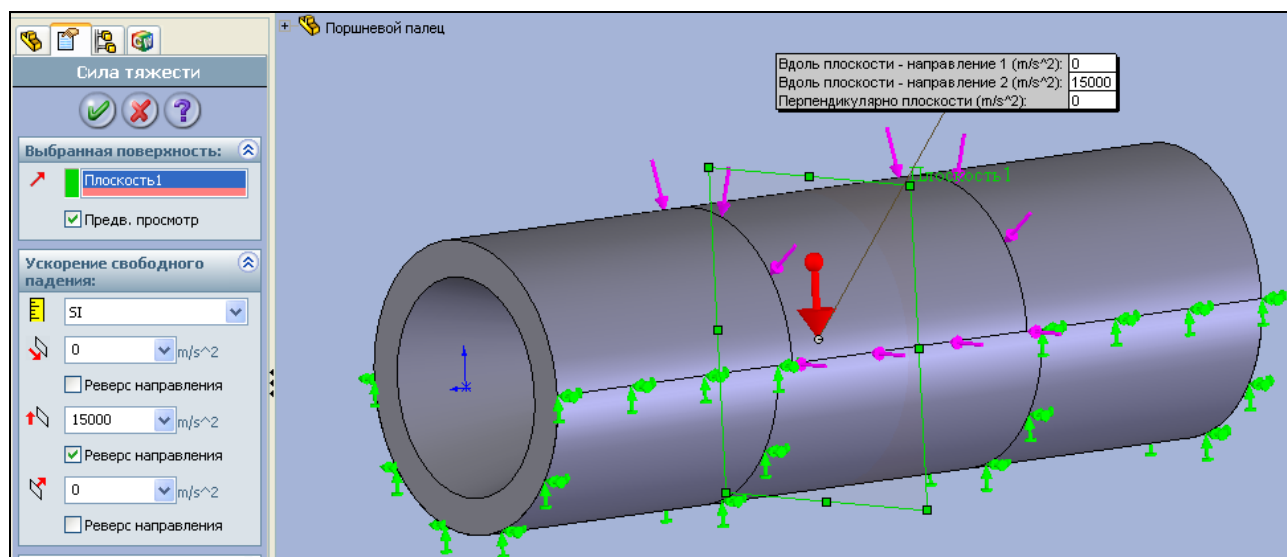






Рис. 5.9. Задание инерционной нагрузки

Сначала нужно задать направление инерционной нагрузки. Для этого щелкните мышью в области  — **Грань, Кромка, Плоскость для направления** и затем укажите построенную ранее плоскость по середине поршневого пальца (**Плоскость1**). Сила инерции поршневого пальца направлена вдоль его оси цилиндра в противоположную сторону от действующего на поршень ускорения. Теперь задайте величину ускорения поршня в области  — **Вдоль плоскости**, например, 15000 м/с² (эту величину необходимо взять из кинематического расчета КШМ). Следует задавать максимальное ускорение, действующее на поршневой палец (это же ускорение действует и на поршень). Чтобы сменить направление действия ускорения, установите флажок у параметра **Реверс направления** (см. рис. 5.9). После задания всех параметров нажмите кнопку  **ОК**. Обозначением инерционной нагрузки является большая красная стрелка, указывающая направление действия ускорения.

7. После задания всех нагрузок и ограничений можно провести прочностной расчет. Для этого нажмите кнопку  — **Выполнить** в

панели инструментов **COSMOSWorks** – **Основные функции** или пройдите путь в главном меню **COSMOSWorks** | **Выполнить**.

8. После успешного расчета проведите анализ напряженного состояния модели с просмотром эпюр (рис. 5.10). Как строить эпюры, показано в пп. 11-17 разд. 3.2.

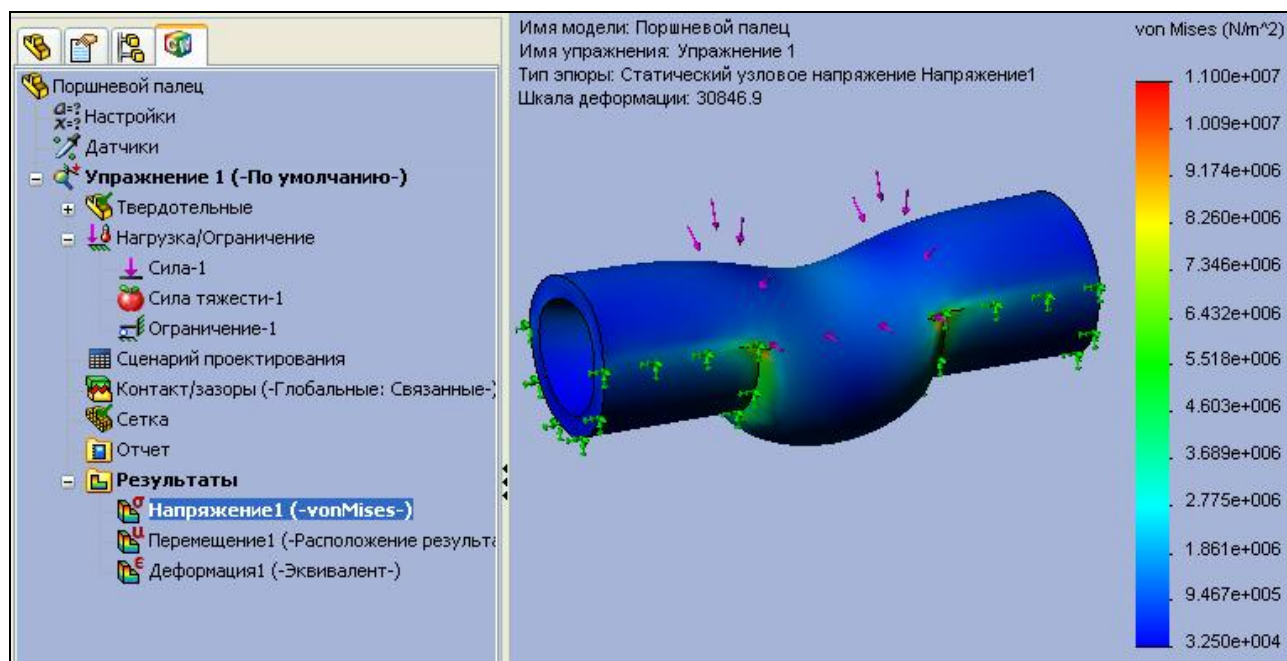


Рис. 5.10. Результаты расчета поршневого пальца

9. По результатам расчета проанализируйте полученные данные:
– определите максимальные напряжения, действующие в материале поршневого пальца;

– сравните с допускаемыми напряжениями;

– определите запас прочности поршневого пальца;

– сделайте заключение о работоспособности поршневого пальца.

10. Определите максимальные напряжения, деформации и запасы прочности в следующих сечениях поршневого пальца:

– напряжение изгиба пальца в среднем сечении;

– напряжение в сечении пальца между бобышкой поршня и поршневой головкой шатуна;

– напряжение на наружной поверхности поршневого пальца;

– напряжение на внутренней поверхности пальца.

11. Защита лабораторной работы заключается в ответе студента на вопросы для контроля и дополнительные вопросы преподавателя.

5.3. Требования к содержанию и оформлению отчета

Результаты расчета оформляются в виде HTML-страницы с указанием опасных сечений детали и выводом максимальных и минимальных напряжений, действующих в материале. Порядок вывода отчета в COSMOSWorks показан в п.17 раздела 3.3.

5.4. Вопросы для контроля

1. Охарактеризуйте условия работы поршневого пальца в ДВС на всех режимах его работы.
2. Из каких материалов изготавливают поршневые пальцы ДВС?
3. Какие напряжения возникают в поршневом пальце под воздействием переменных нагрузок?
4. На каком режиме работы бензинового двигателя в поршневом пальце возникают максимальные напряжения?
5. На каком режиме работы дизельного двигателя в поршневом пальце возникают максимальные напряжения?
6. Какие элементы поршневого пальца подвергаются расчету?
7. Из-за чего происходит овализация поршневого пальца?
8. В каком сечении поршневого пальца проводят расчёт на изгиб?
9. В каких сечениях поршневого пальца проводят расчёт на срез?

6. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. РАСЧЕТ ШАТУНА

6.1. Цель работы

Целью работы является получения навыков назначения нагрузок на шатун и крышку кривошипной головки шатуна, задания граничных условий и проведения прочностного расчета шатуна и крышки методом конечных элементов в COSMOSWorks, а также повышение уровня компетенций в области прочностного расчета шатуна.

6.2. Порядок выполнения работы

В процессе выполнения работы необходимо рассмотреть условия работы шатуна ДВС и определить нагрузки на его элементы. Для выполнения расчета потребуются следующие нагрузки на шатун:

- силу со стороны поршневого пальца (сила S динамического расчета КШМ) на верхнюю поршневую головку шатуна;
- максимальную инерционную силу, действующую на шатун;
- силу стороны шатунной шейки коленчатого вала задайте с помощью ограничения (фиксации).

Прочностной расчет шатуна в COSMOSWorks выполняется в следующем порядке:

1. Запустите программу SolidWorks, загрузите или постройте модель шатуна без крышки (рис. 6.1).

2. Задайте материал шатуна, если он не был задан раньше. Задание материала описано в п. 2 разд. 3.2.

3. Создайте новое **Упражнение** для анализа так, как указано в п. 3 разд. 3.2.

4. Теперь перейдем к заданию нагрузок. Зададим нагрузку на поршневую головку шатуна со стороны поршневого пальца – максимальную сжимающую силу S . Эту силу необходимо взять из динамического расчета КШМ. Эта нагрузка практически всегда действует на нижнюю часть поршневой головки шатуна.

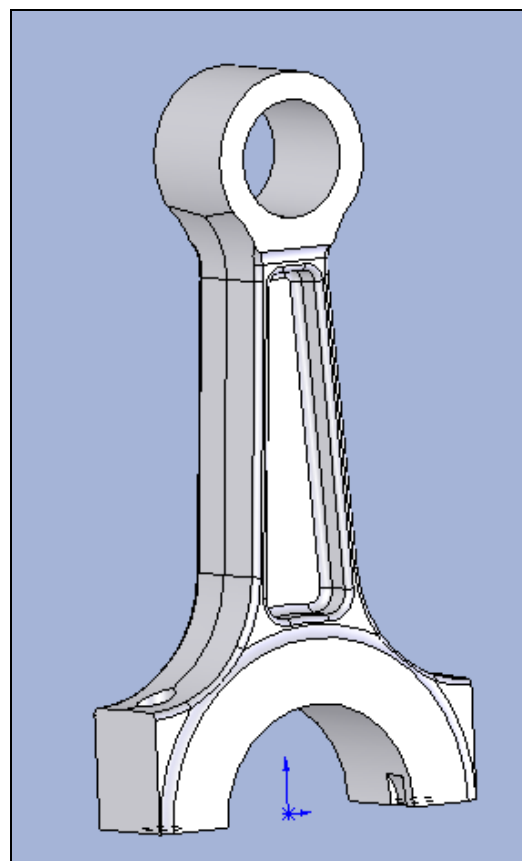


Рис. 6.1. Геометрическая модель шатуна

Поскольку нагрузка приходится на часть поверхности поршневой головки шатуна, то необходимо обозначить эту часть. Для этого перейдите в режим построения геометрической модели и на передней грани шатуна создайте новый эскиз, в котором постройте полуокружность, показанную на рис. 6.2. Затем, не выходя из режима рисования эскиза, переключите панель инструментов **Эскиз** на панель **Элементы**, нажав кнопку

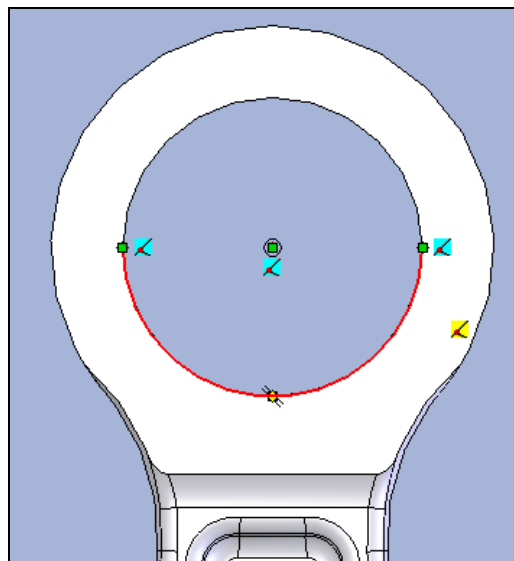
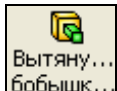






Рис. 6.2. Эскиз зоны нагрузки

Далее в панели **Элементы** выберите инструмент  — **Вытянутая бобышка/основание**. Программа автоматически выберет редактируемый эскиз и попытается его вытянуть. Поскольку эскиз дуги является незамкнутым, то он будет интерпретироваться как тонкостенный элемент. С помощью кнопки  — **Реверс направления** в области **Тонкостенный элемент** диалогового окна **Вытянуть** добейтесь того, чтобы направление натяжения материала происходило наружу (рис. 6.3). Установите толщину вытягивания 0.0001 мм (минимальная толщина натяжения). Проверьте корректность задания всех параметров и нажмите кнопку  **ОК**.

Теперь можно задать усилие от поршневого пальца S на поршневую головку шатуна на только что построенную зону (эту силу необходимо получить из динамического расчета КШМ двигателя). Для этого перейдите в режим расчета на прочность и нажмите на кнопку  — **Сила** в панели инструментов **COSMOSWorks – Нагрузки** или пройдите путь в главном меню **COSMOSWorks | Нагрузки/Ограничение | Сила**. Откроется диалоговое окно **Сила**, показанное на рис. 6.4. Сначала установите переключатель в положение **Приложить нормальную силу**, затем щелкните мышью в области **Грани для нормальной силы**  и далее укажите грань построенной зоны шатуна (**Грань<1>**) (см. рис. 6.4).

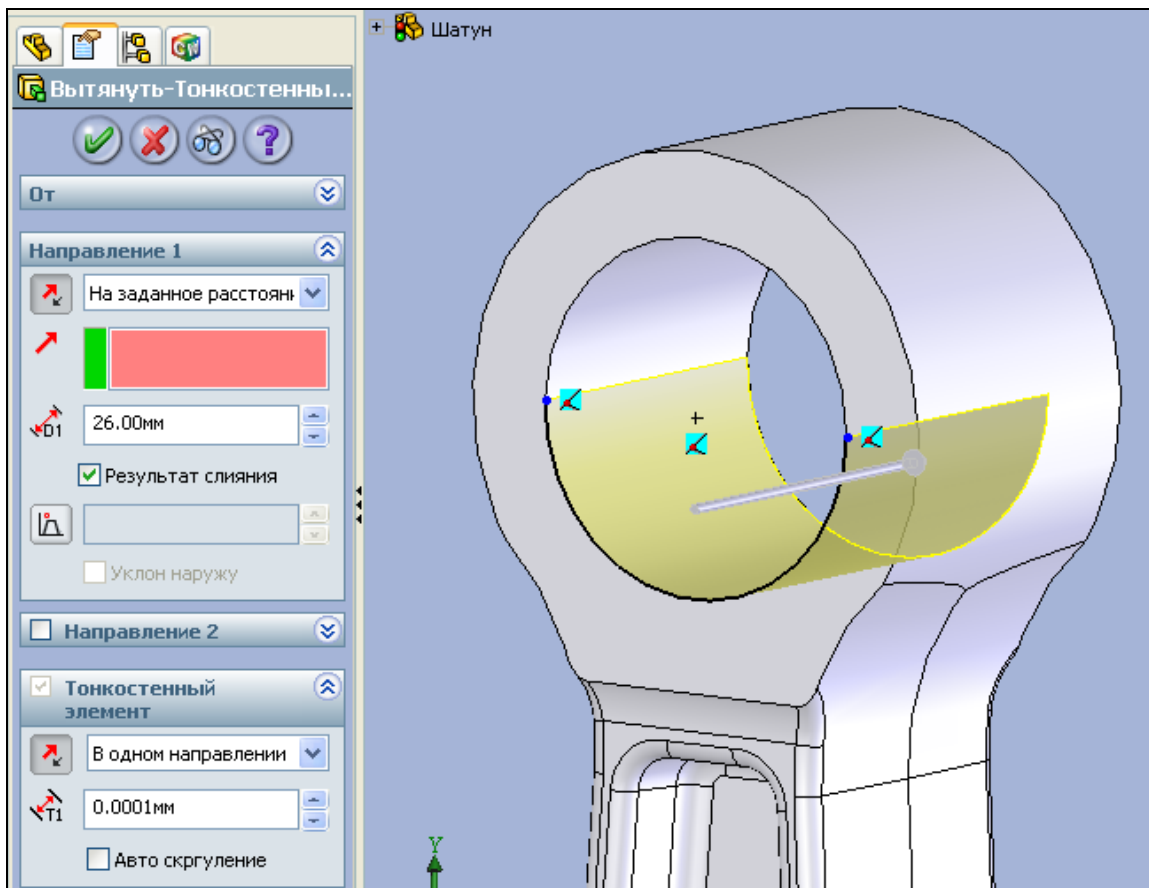


Рис. 6.3. Вытягивание зоны приложения нагрузки

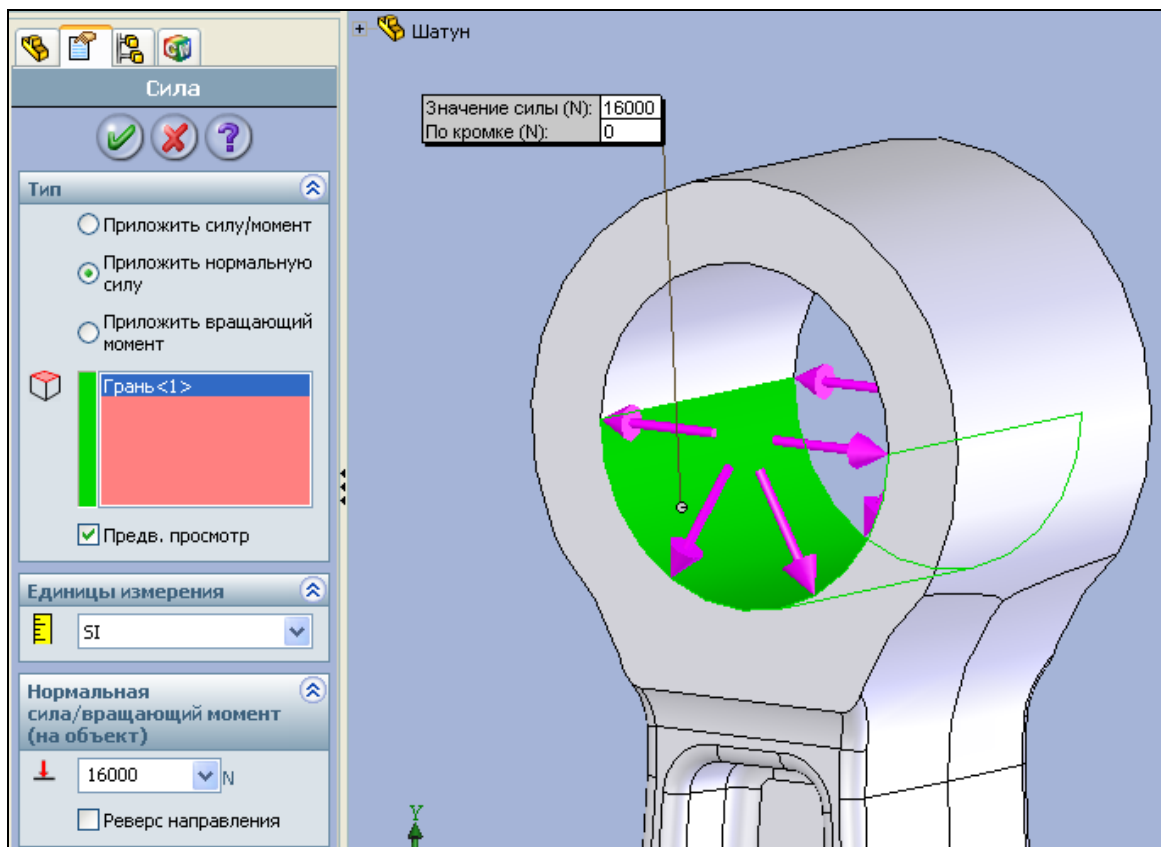





Рис. 6.4. Задание нагрузки на поршневую головку шатуна

В области  — **Значение силы** задайте величину силы, например, 16000 Н (максимальная величина силы от поршневого пальца S из динамического расчета). После задания всех параметров нажмите кнопку  **ОК**.

5. Теперь зададим инерционную нагрузку на шатун. Для этого нажмите на кнопку  — **Сила тяжести** в панели инструментов COSMOSWorks – **Нагрузки** или пройдите путь в главном меню COSMOSWorks | **Нагрузки/Ограничение** | **Сила тяжести**. Откроется диалоговое окно **Сила тяжести**, показанное на рис. 6.5.

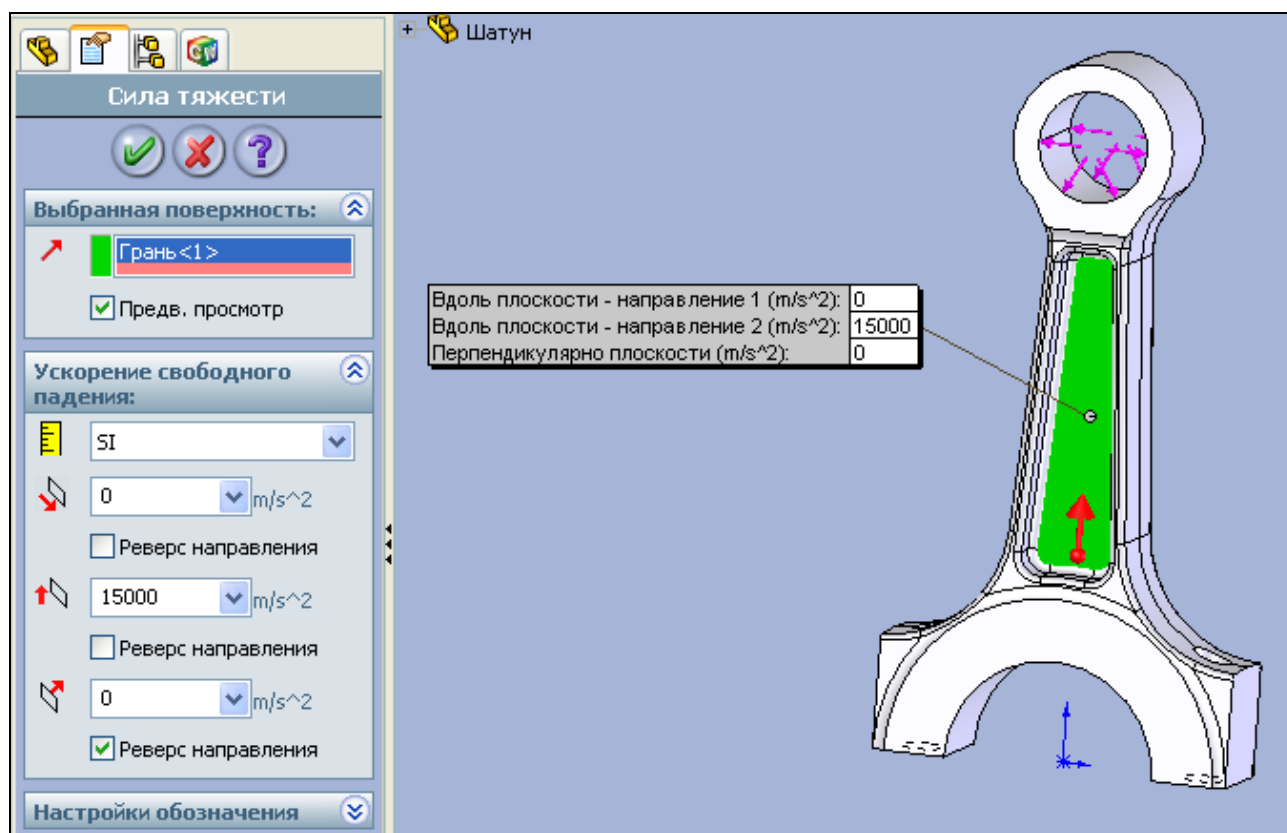







Рис. 6.5. Задание инерционной нагрузки

Сначала нужно задать направление инерционной нагрузки. Для этого щелкните мышью в области  — **Грань, Кромка, Плоскость для направления** и затем укажите грань шатуна. Сила инерции шатуна в общем случае направлена в зависимости от положения шатуна, но наибольшее воздействие на шатун она производит в момент совпадения с силой вдоль шатуна S . Сила инерции всегда направлена в противоположную сторону от направления ускорения. Поэтому задайте направление ускорения вверх и величину ускорения шатуна в области  — **Вдоль плоскости**, например, 15000 м/с² (эту величину необхо-

димо взять из кинематического расчета КШМ). После задания всех параметров нажмите кнопку  **ОК**. Обозначением инерционной нагрузки является большая красная стрелка, указывающая направление действия ускорения.

6. Осталось задать силу, действующую от коленчатого вала на шатун. Но поскольку при рассмотрении детали вне связи с другими деталями сумма всех сил на эту деталь должна быть равна 0, то вместо задания силы от коленчатого вала можно просто закрепить места передачи усилия (граничное условие ограничения). Поэтому теперь перейдем к заданию ограничения. Зададим ограничения на шатун в месте соединения с шатунной шейкой коленчатого вала. Для этого перейдите в режим прочностного расчета и нажмите на кнопку  — **Ограничения** в панели инструментов **COSMOSWorks – Нагрузки** или пройдите путь в главном меню **COSMOSWorks | Нагрузки/Ограничение | Ограничения**. Откроется диалоговое окно **Ограничение**, показанное на рис. 6.6. Выберите мышью зону сопряжения шатуна с коленчатым валом для ограничения и нажмите кнопку  **ОК**.

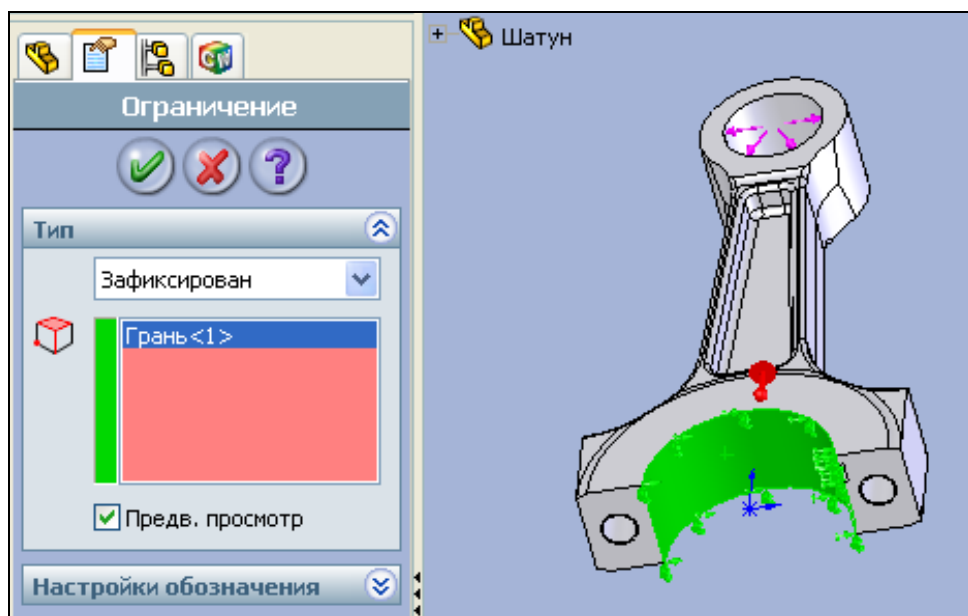



Рис. 6.6. Задание ограничения на шатун

7. После задания всех нагрузок и ограничений можно провести прочностной расчет шатуна. Для этого нажмите кнопку  — **Выполнить** в панели инструментов **COSMOSWorks – Основные функ-**

ции или пройдите путь в главном меню **COSMOSWorks** | **Выполнить**.

8. После успешного расчета проведите анализ напряженного состояния модели шатуна с просмотром эпюр (рис. 6.7). Как строить эпюры, показано в пп. 11-17 разд. 3.2.

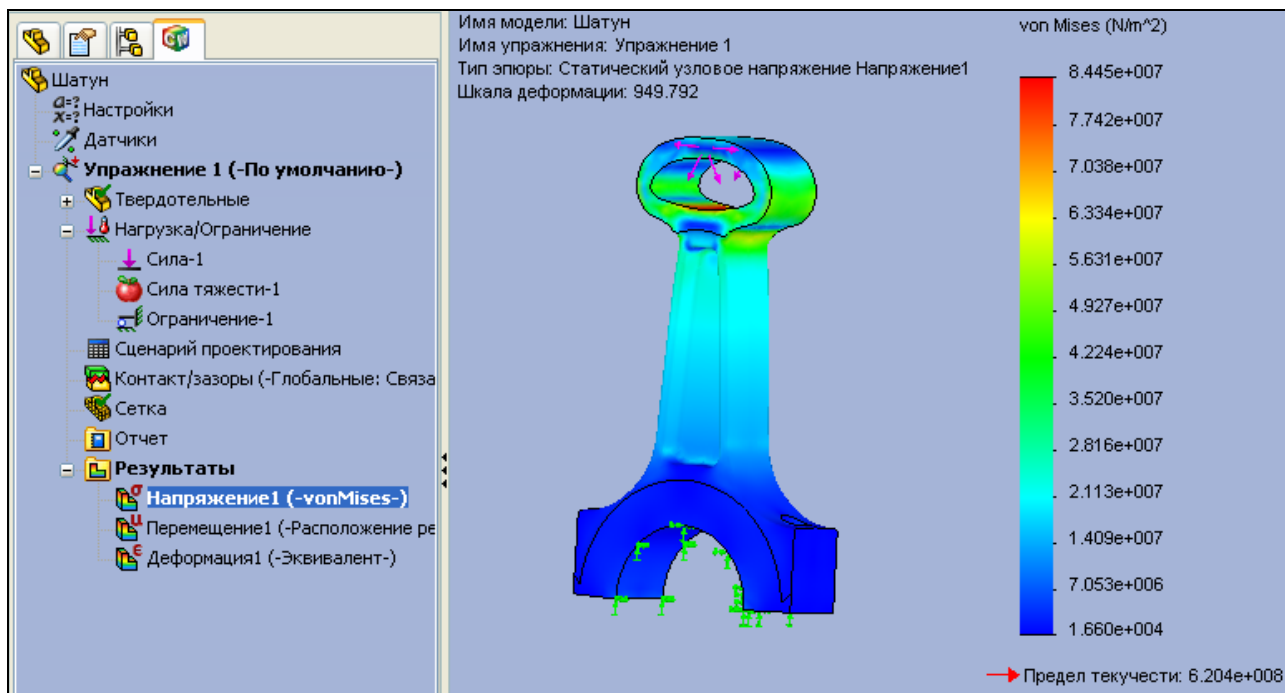


Рис. 6.7. Результаты расчета шатуна

9. Загрузите или постройте модель крышки кривошипной головки шатуна (рис. 6.8).

10. Задайте материал шатунной крышки, если он не был задан раньше. Задание материала описано в п. 2 разд. 3.2.

11. Создайте новое **Упражнение** для анализа так, как указано в п. 3 разд. 3.2.

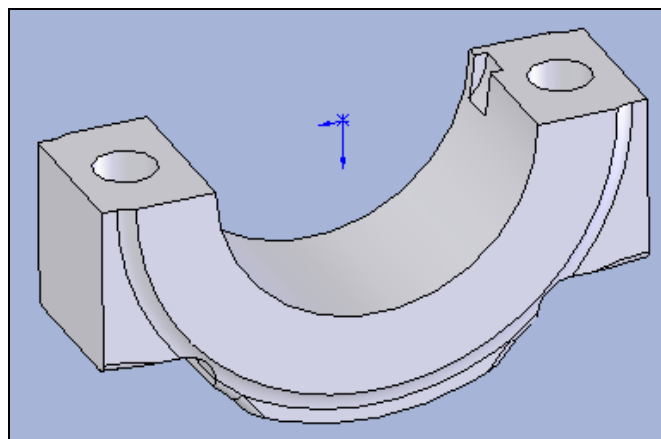




Рис. 6.8. Модель крышки

12. Теперь перейдем к заданию нагрузок. Зададим нагрузку на крышку кривошипной головки шатуна со стороны коленчатого вала – максимальную силу S в процессе впуска, когда коленчатый вал тянет поршень вниз. Эту силу необходимо взять из динамического расчета КШМ. Эта нагрузка практически всегда действует на нижнюю часть крышки шатуна.

Далее перейдите в режим расчета на прочность и нажмите на кнопку  — **Сила** в панели инструментов **COSMOSWorks – Нагрузки** или пройдите путь в главном меню **COSMOSWorks | Нагрузки/Ограничение | Сила**. Откроется диалоговое окно **Сила**, показанное на рис. 6.9. Сначала установите переключатель в положение **Приложить нормальную силу**, затем щелкните мышью в области **Грани для нормальной силы**  и далее укажите грань крышки, сопряженной с шейкой коленчатого вала (**Грань<1>**) (см. рис. 6.9).

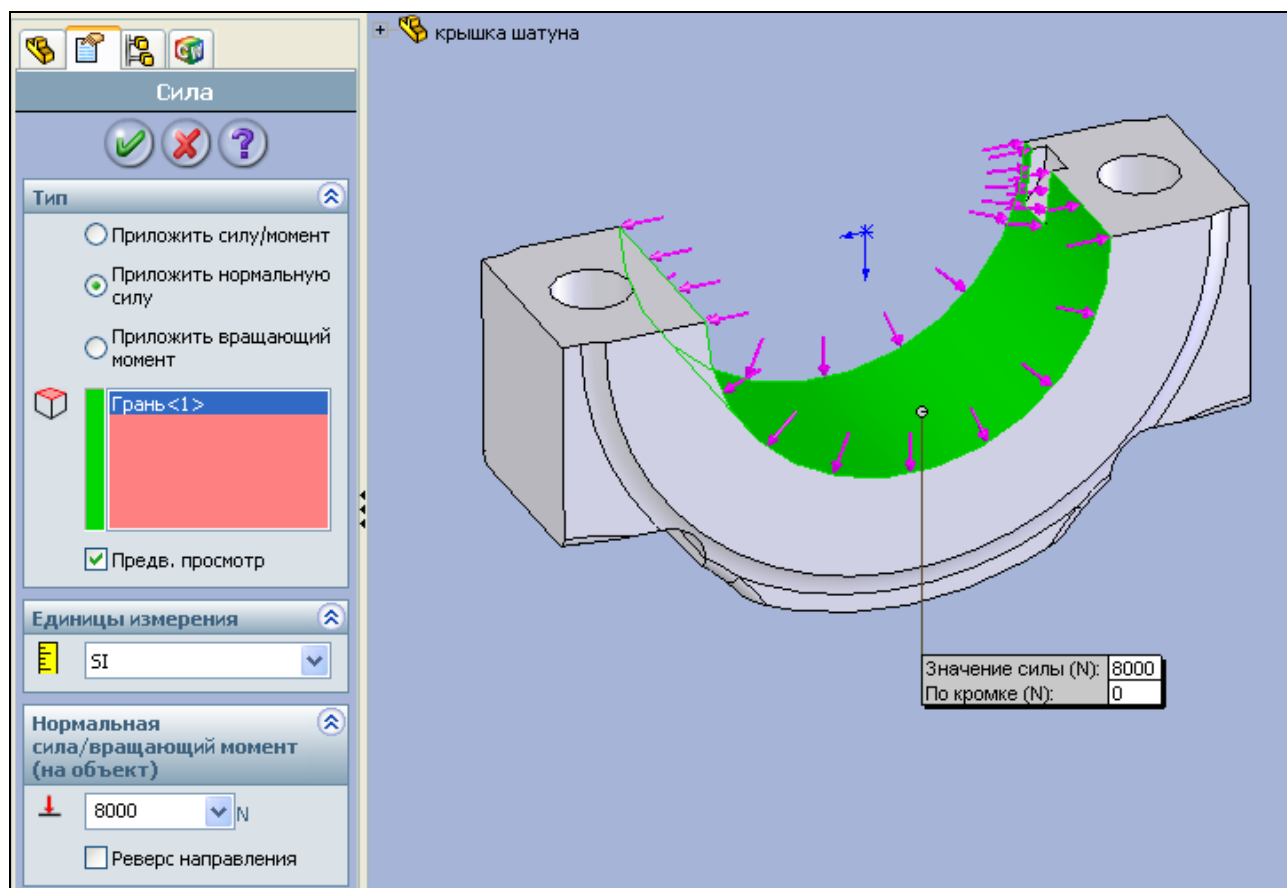




Рис. 6.9. Задание нагрузки на крышку шатуна

В области  — **Значение силы** задайте величину силы, например, 8000 Н (максимальная величина силы от шатунной шейки коленчатого вала S в момент процесса впуска из динамического расчета КШМ). После задания всех параметров нажмите кнопку  **ОК**.

13. Теперь зададим инерционную нагрузку на шатунную крышку. Для этого нажмите на кнопку  — **Сила тяжести** в панели инструментов **COSMOSWorks – Нагрузки** или пройдите путь в главном меню **COSMOSWorks | Нагрузки/Ограничение | Сила тяже-**

сти. Откроется диалоговое окно **Сила тяжести**, показанное на рис. 6.10.

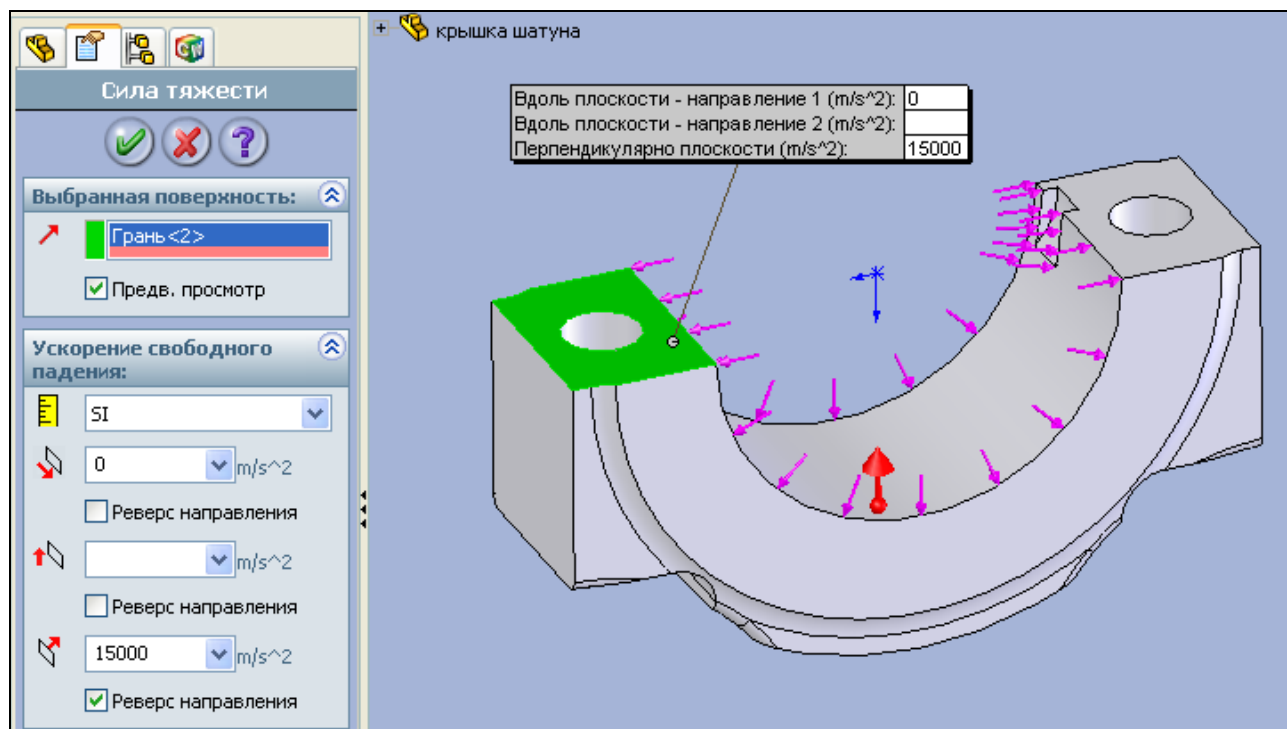






Рис. 6.10. Задание инерционной нагрузки на шатунную крышку

Сначала нужно задать направление инерционной нагрузки. Для этого щелкните мышью в области  — **Грань, Кромка, Плоскость для направления** и затем укажите грань шатунной крышки. Сила инерции шатунной крышки в общем случае направлена в зависимости от положения шатуна, но наибольшее воздействие на шатунную крышку она производит в момент совпадения с силой вдоль шатуна S , направленной вверх. Сила инерции всегда направлена в противоположную сторону от направления ускорения. Поэтому задайте направление ускорения вверх и величину ускорения поршня в области  — **Перпендикулярно плоскости**, например, 15000 м/с^2 (эту величину необходимо взять из кинематического расчета КШМ). Чтобы сменить направление действия ускорения, установите флажок у параметра **Реверс направления** (см. рис. 6.10). После задания всех параметров нажмите кнопку  **ОК**. Обозначением инерционной нагрузки является большая красная стрелка, указывающая направление действия ускорения.

14. Далее зададим граничное условие ограничения (фиксации). Нажмите на кнопку  — **Ограничения** в панели инструментов

COSMOSWorks – Нагрузки или пройдите путь в главном меню **COSMOSWorks | Нагрузки/Ограничение | Ограничения**. Откроется диалоговое окно **Ограничение**, показанное на рис. 6.11.

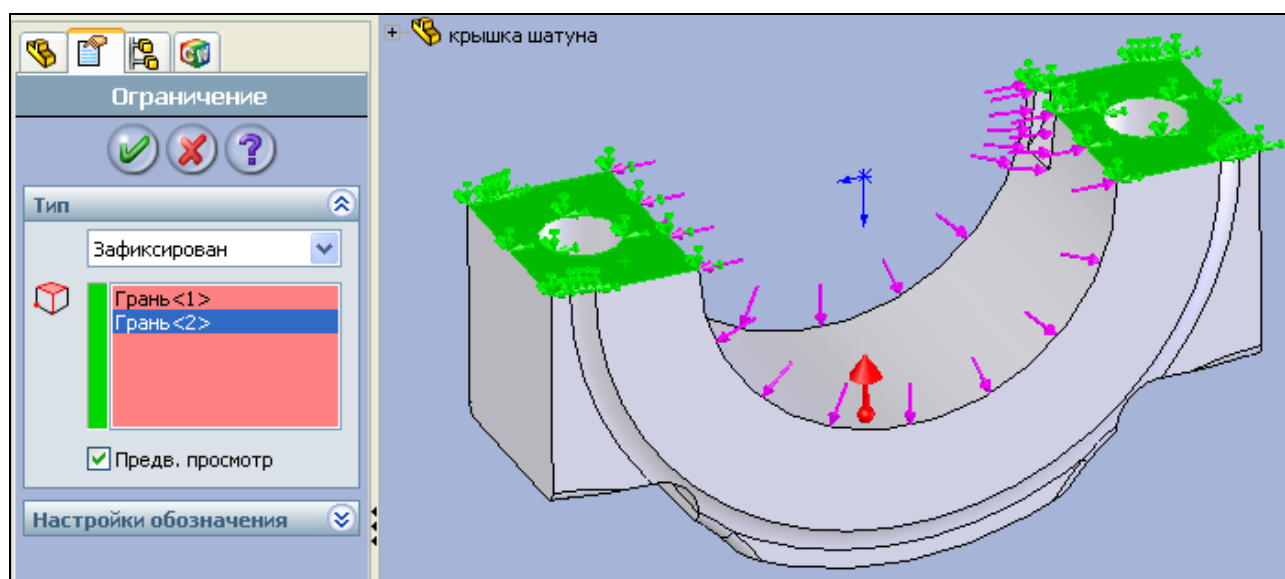




Рис. 6.11. Задание ограничения для крышки шатуна

Выберите мышью зоны соединения крышки шатуна с шатуном (**Грань<1>** и **Грань<2>**) для ограничения и нажмите кнопку  **ОК**.

15. После задания всех нагрузок и ограничений можно провести прочностной расчет крышки шатуна. Для этого нажмите кнопку  — **Выполнить** в панели инструментов **COSMOSWorks – Основные функции** или пройдите путь в главном меню **COSMOSWorks | Выполнить**.

16. После успешного расчета проведите анализ напряженного состояния модели с просмотром эпюр (рис. 6.12). Как строить эпюры, показано в пп. 11-17 разд. 3.2.

17. По результатам расчета проанализируйте полученные данные:

- определите максимальные напряжения, действующие в материале шатуна и шатунной крышки;
- сравните с допускаемыми напряжениями;
- определите запас прочности шатуна и шатунной крышки;
- сделайте заключение о работоспособности шатуна и шатунной крышки.

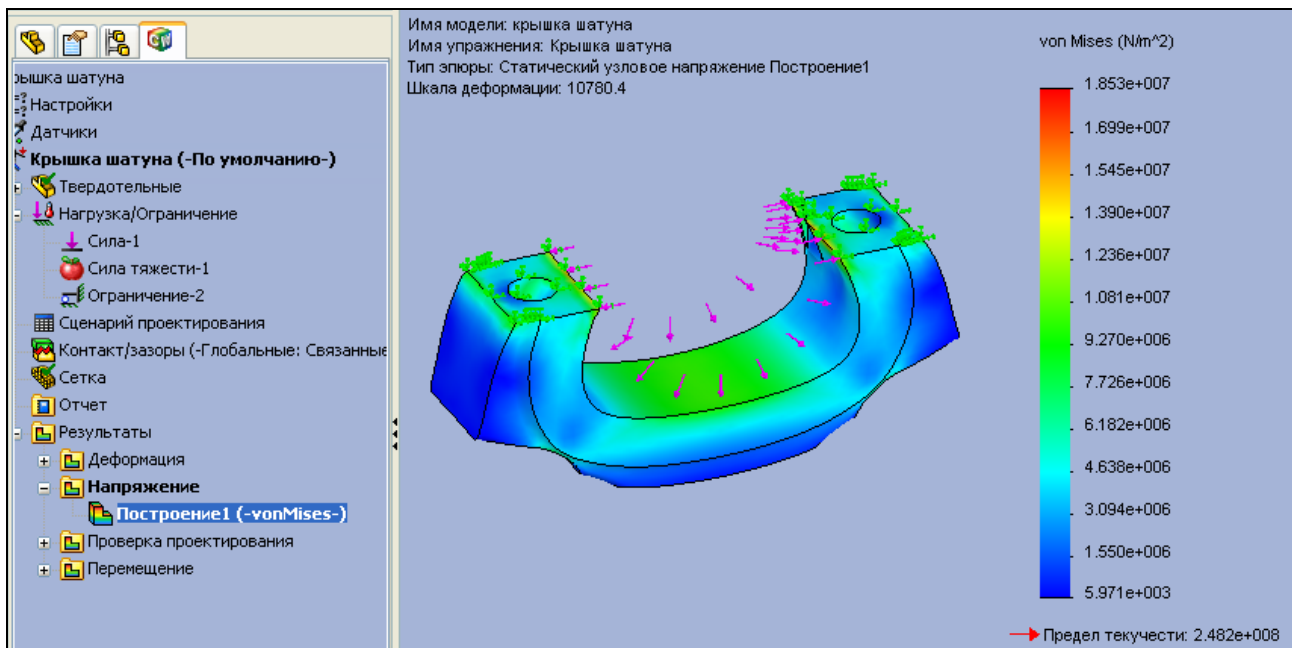


Рис. 6.12. Результаты расчета крышки шатуна

18. Определите максимальные напряжения, деформации и запасы прочности в следующих сечениях шатуна и шатунной крышки:

- напряжение в поршневой головке шатуна;
- напряжение в стержне шатуна;
- напряжение изгиба в крышке кривошипной головки шатуна.

19. Защита лабораторной работы заключается в ответе студента на вопросы для контроля и дополнительные вопросы преподавателя.

6.3. Требования к содержанию и оформлению отчета

Результаты расчета оформляются в виде HTML-страницы с указанием опасных сечений детали и выводом максимальных и минимальных напряжений, действующих в материале. Порядок вывода отчета в COSMOSWorks показан в п.17 раздела 3.3.

6.4. Вопросы для контроля

1. Какие нагрузки действуют на шатун в процессе работы ДВС?
2. Из какого материала изготавливаются шатуны ДВС?
3. Из каких рассчитываемых элементов состоит шатун?
4. На какие типы напряжения рассчитывается поршневая головка шатуна?
5. Какие напряжения испытывает стержень шатуна?
6. Для какого режима работы двигателя производится расчёт стержня шатуна?
7. Какие напряжения испытывают шатунные болты?

7. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5. РАСЧЕТ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА

7.1. Цель работы

Целью работы является получения навыков назначения нагрузок на коленчатый вал, задания граничных условий и проведения прочностного расчета коленчатого вала двигателя методом конечных элементов в COSMOSWorks, а также повышение уровня компетенций в области расчета теплонапряженного состояния коленчатого вала.

7.2. Порядок выполнения работы

В процессе выполнения работы необходимо рассмотреть условия работы коленчатого вала ДВС и определить нагрузки на его элементы. Для выполнения расчета потребуются следующие нагрузки на коленчатый вал:

- нагрузку от кривошипной головки шатуна каждого цилиндра на шатунные шейки коленчатого вала (распределенная нагрузка);
- максимальную инерционную силу от противовесов, действующую на щеки коленчатого вала;
- суммарный крутящий момент на носке коленчатого вала задайте с помощью ограничения (фиксации);
- реакции на опорах вращения задайте с помощью ограничений.

Прочностной расчет коленчатого вала в COSMOSWorks выполняется в следующем порядке:

1. Запустите программу Solid-Works, загрузите или постройте модель коленчатого вала (рис. 7.1).

2. Задайте материал коленчатого вала, если он не был задан раньше. Задание материала описано в п. 2 разд. 3.2.

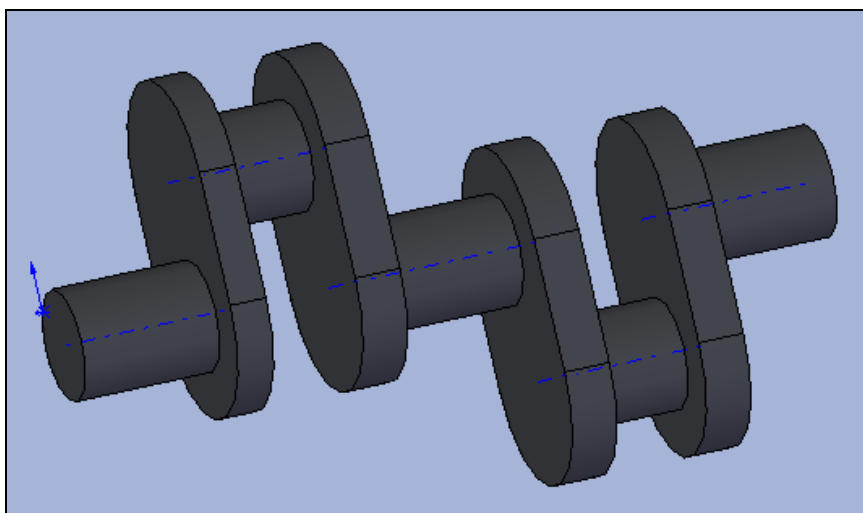



Рис. 7.1. Геометрическая модель коленчатого вала

3. Создайте новое **Упражнение** для анализа так, как указано в п. 3 разд. 3.2.

4. Теперь перейдем к заданию нагрузок. Зададим нагрузку на шатунные шейки коленчатого вала со стороны шатуна. Эту силу необходимо взять из динамического расчета КШМ. Для удобства задания суммарную силу S , действующую от шатуна на шатунную шейку коленчатого вала, рекомендуется разложить на две силы – тангенциальную силу T и силу, действующую вдоль кривошипа, K . Обе эти силы также нужно взять из динамического расчета КШМ. Для задания сил нажмите на кнопку  — **Сила** в панели инструментов **COSMOSWorks** – **Нагрузки** или пройдите путь в главном меню **COSMOSWorks** | **Нагрузки/Ограничение** | **Сила**. Откроется диалоговое окно **Сила**, показанное на рис. 7.2.

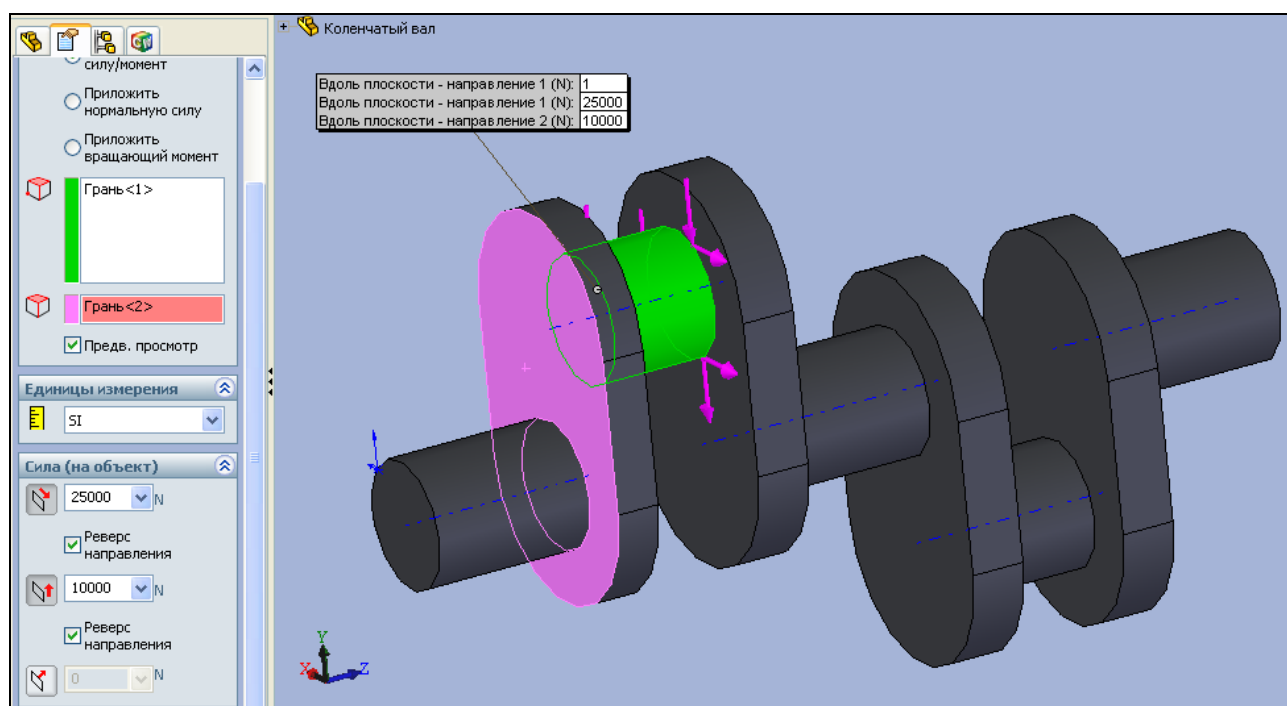




Рис. 7.2. Задание нагрузки на шатунную шейку

Сначала установите переключатель в положение **Приложить силу/момент**, затем щелкните мышью в области **Грани, Кромки, Вершины** для силы  и далее укажите поверхность первой шатунной шейки (**Грань<1>**) (см. рис. 7.2). Далее щелкните мышью в области **Грань, Кромка, Плоскость, Оси** для **направления** и затем укажите боковую поверхность щеки (**Грань<2>**). В диалоговом окне **Сила** откроется вкладка **Сила (на объект)**. В этой вкладке щелкните на кнопке  — **Вдоль плоскости-направление 1** и в окне задайте

величину тангенциальной силы T , например, 25000 Н. В этом окне можно также задать и силу K , действующую вдоль радиуса кривошипа. Для этого нажмите кнопку — **Вдоль-направление 2** и в окне задайте величину силы K , например, 10000 Н. Если необходимо, то поставьте флажок у параметра **Реверс направления**. После задания всех параметров нажмите кнопку **ОК**.

Аналогично задайте нагрузки на вторую шатунную шейку (пример показан на рис. 7.3).

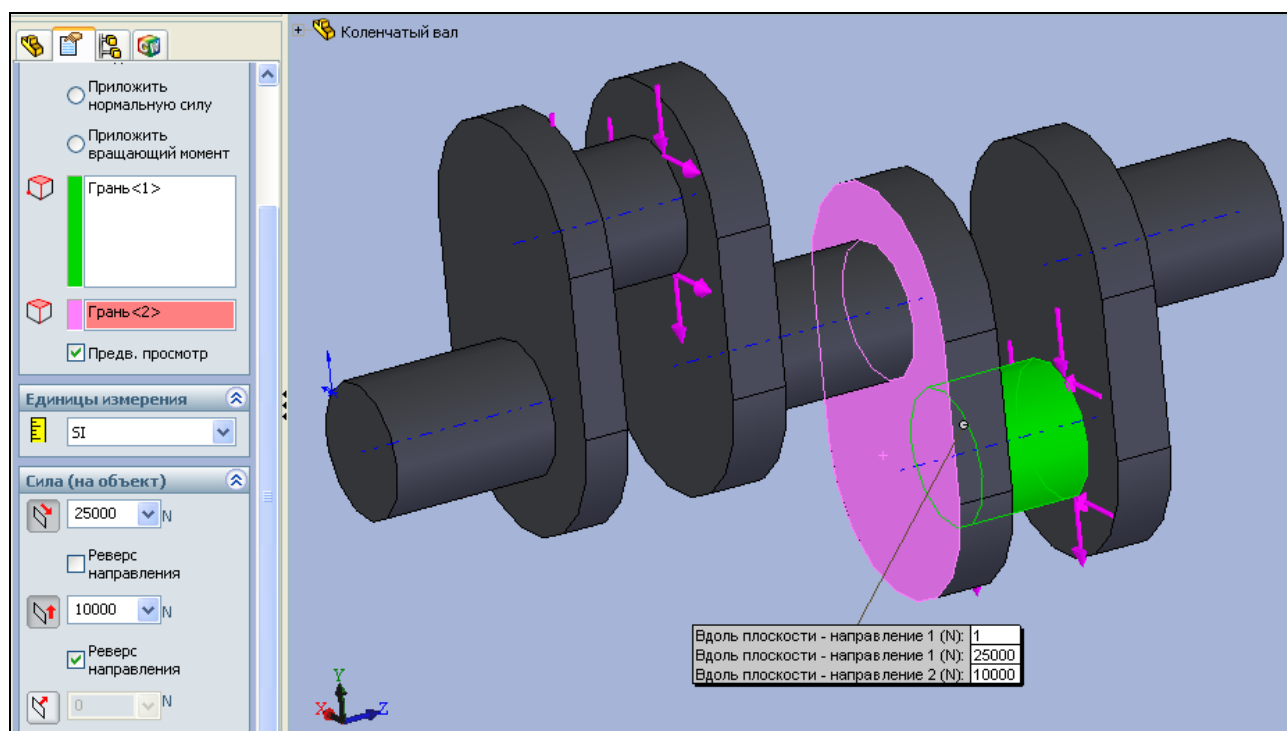


Рис. 7.3. Задание нагрузок на вторую шатунную шейку

5. Далее зададим максимальную инерционную силу, действующую на элементы коленчатого вала. Поскольку коленчатый вал совершает вращательное движение, то инерционные нагрузки можно задать с помощью наложения центробежных сил. Для этого нажмите на кнопку — **Центробежная сила** в панели инструментов **COSMOSWorks – Нагрузки** или пройдите путь в главном меню **COSMOSWorks | Нагрузки/Ограничение | Центробежная сила**. Откроется диалоговое окно **Центробежная**, показанное на рис. 7.4. Затем щелкните на цилиндрическую поверхность любой коренной шейки коленчатого вала.

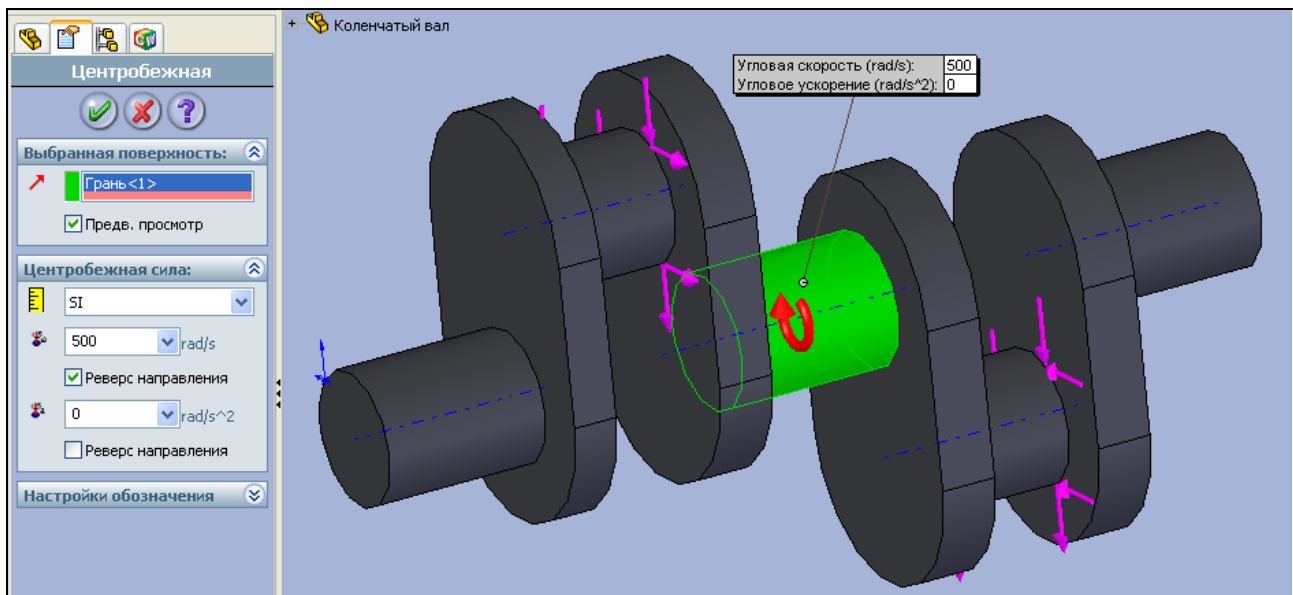









Рис. 7.4. Задание центробежных сил с помощью угловой скорости

Далее в окне  – **Угловая скорость** задайте величину угловой скорости коленчатого вала, например, 500 рад/с (см. рис. 7.4). Красная стрелка показывает направление вращения. Для смены направления вращения поставьте флажок у параметра **Реверс направления**. Если коленчатый вал имеет угловое ускорение, то задайте величину этого ускорения в окне  – **Угловое ускорение**. После задания всех параметров нажмите кнопку  **ОК**.

6. Максимальный крутящий момент на носке коленчатого вала, соединенного с маховиком, зададим с помощью ограничения (фиксации). Для этого нажмите на кнопку  — **Ограничения** в панели инструментов **COSMOSWorks** – **Нагрузки** или пройдите путь в главном меню **COSMOSWorks** | **Нагрузки/Ограничение** | **Ограничения**. Откроется диалоговое окно **Ограничение**, показанное на рис. 7.5. Выберите мышью торец коленчатого вала для ограничения и нажмите кнопку  **ОК**.

7. Реакции на коренных опорах вращения зададим с помощью шарнирного ограничения (подшипника). Для этого нажмите еще раз на кнопку  — **Ограничения** в панели инструментов **COSMOSWorks** – **Нагрузки** или пройдите путь в главном меню **COSMOSWorks** | **Нагрузки/Ограничение** | **Ограничения**. В диалоговом окне **Ограничение** выберите Тип ограничения **Шарнир** и укажите мышью грани всех коренных шеек (рис. 7.6). После выбора ограничения нажмите кнопку  **ОК**.

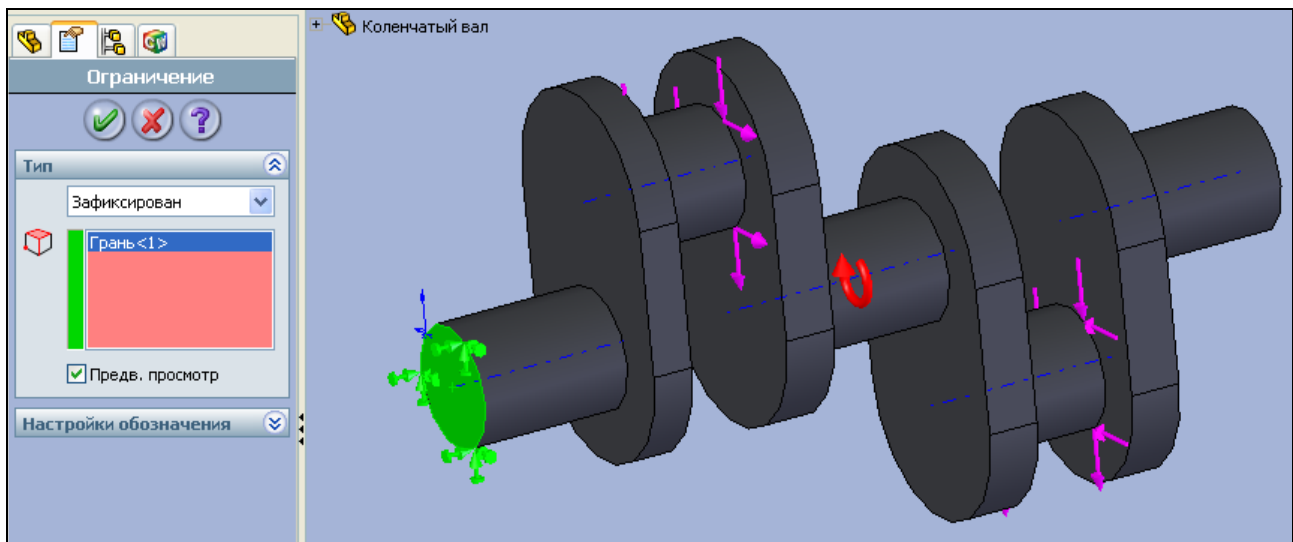


Рис. 7.5. Фиксация торца коленчатого вала

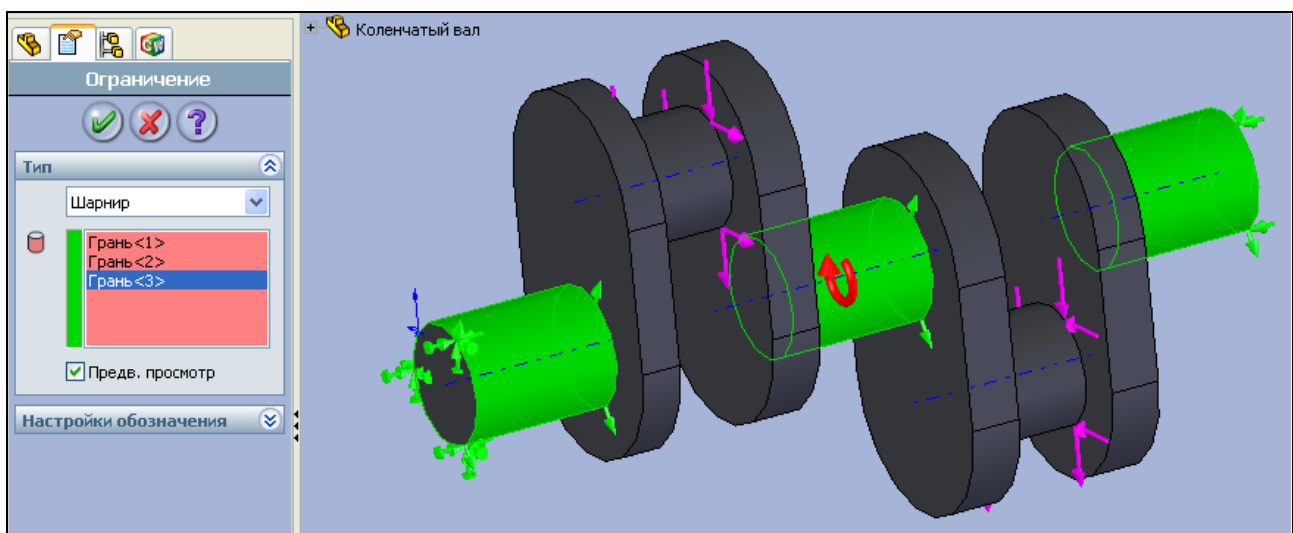



Рис. 7.6. Задание ограничения типа **Шарнир**

8. После задания всех нагрузок и ограничений можно провести прочностной расчет коленчатого вала. Для этого нажмите кнопку  — **Выполнить** в панели инструментов **COSMOSWorks – Основные функции** или пройдите путь в главном меню **COSMOSWorks | Выполнить**.

9. После успешного расчета проведите анализ напряженного состояния модели коленчатого вала с просмотром эпюр (рис. 7.7). Как строить эпюры, показано в пп. 11-17 разд. 3.2.

10. По результатам расчета проанализируйте полученные данные:

- определите максимальные напряжения, действующие в материале коленчатого вала;
- сравните с допускаемыми напряжениями;

- определите запас прочности коленчатого вала;
- сделайте заключение о работоспособности коленчатого вала.

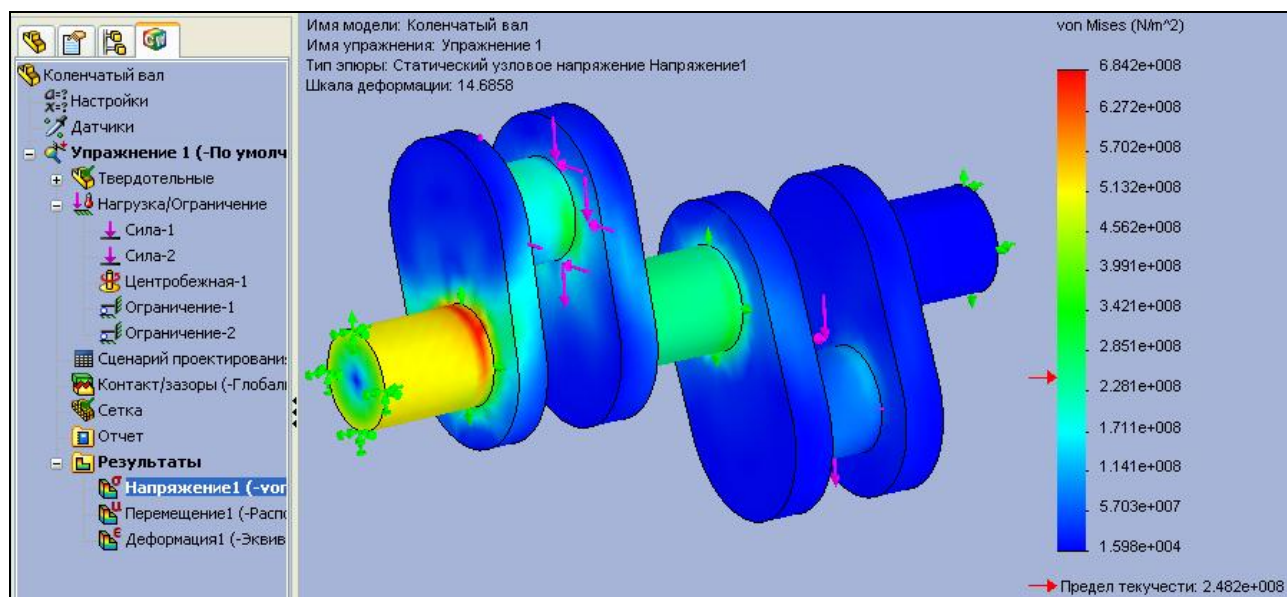


Рис. 7.7. Результаты расчета коленчатого вала

11. Определите максимальные напряжения, деформации и запасы прочности в следующих элементах коленчатого вала:

- напряжение в шатунных шейках;
- напряжение в коренных шейках;
- напряжение в щеке коленчатого вала.

12. Защита лабораторной работы заключается в ответе студента на вопросы для контроля и дополнительные вопросы преподавателя.

7.3. Требования к содержанию и оформлению отчета

Результаты расчета оформляются в виде HTML-страницы с указанием опасных сечений детали и выводом максимальных и минимальных напряжений, действующих в материале. Порядок вывода отчета в COSMOSWorks показан в п.17 раздела 3.3.

7.4. Вопросы для контроля

1. Для какого режима работы двигателя рассчитывают коленчатый вал?
2. Из какого материала изготавливают коленчатые валы?
3. Какие напряжения испытывают коренные и шатунные шейки коленчатого вала?
4. В каких местах щеки коленчатого вала возникают наибольшие напряжения?

8. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6. РАСЧЕТ ГИЛЬЗЫ ЦИЛИНДРА

8.1. Цель работы

Целью работы является получения навыков назначения нагрузок на гильзу цилиндра, задания граничных условий и проведения прочностного расчета гильзы цилиндра двигателя методом конечных элементов в COSMOSWorks, а также повышение уровня компетенций в области расчета теплонапряженного состояния гильзы цилиндра.

8.2. Порядок выполнения работы

В процессе выполнения работы необходимо рассмотреть условия работы гильзы цилиндра ДВС и определить нагрузки на его элементы. Для выполнения расчета потребуются следующие нагрузки на гильзу цилиндра:

- давление газов P_2 на гильзу цилиндра вблизи верхней мертвой точки;
- тепловую нагрузку от отработанных газов;
- силу со стороны поршня (сила N динамического расчета) на боковую поверхность гильзы цилиндра;
- силу от блока цилиндров задайте с помощью ограничения (фиксации).

Прочностной расчет гильзы цилиндра в COSMOSWorks выполняется в следующем порядке:

1. Запустите программу SolidWorks, загрузите или постройте модель гильзы цилиндра (рис. 8.1).

2. Задайте материал гильзы цилиндра, если он не был задан раньше. Задание материала описано в п. 2 разд. 3.2.

3. Создайте новое **Упражнение** для анализа так, как указано в п. 3 разд. 3.2.

4. Теперь перейдем к заданию нагрузок. Зададим на верхнюю часть гильзы давление газов P_2 . Эта нагрузка является распределенной.

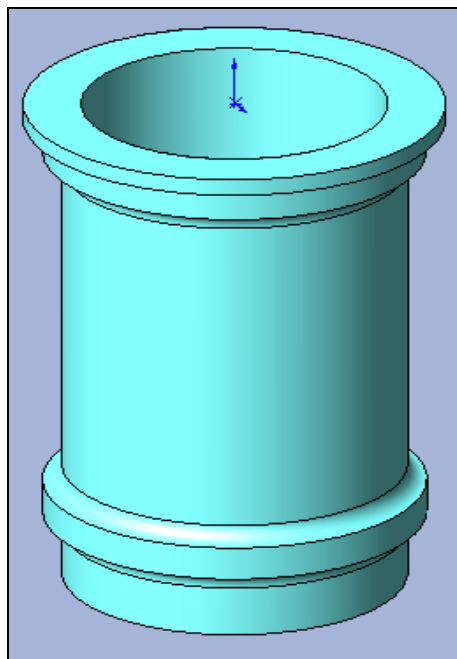


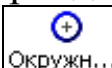



Рис. 8.1. Модель гильзы

Поскольку эта нагрузка действует только на часть поверхности гильзы цилиндра, то необходимо эту поверхность обозначить. Для этого перейдите в режим геометрических построений, нажав кнопку  — **Дерево конструирования**. Затем щелкните мышью по верхней торцевой грани гильзы (рис. 8.2) так, чтобы она подсветилась. Откройте на этой грани эскиз, нажав на кнопку  — **Эскиз** в панели инструментов **Эскиз** или пройдите путь в главном меню **Вставка | Эскиз**. Программа перейдет в режим рисования эскиза. Затем с помощью инструмента  — **Окружность** в панели инструментов **Эскиз** постройте в эскизе окружность, совпадающую с внутренним диаметром цилиндра так, как показано на рис. 8.2. Нажмите кнопку  **ОК**, чтобы закрыть диалоговое окно **Окружность**.

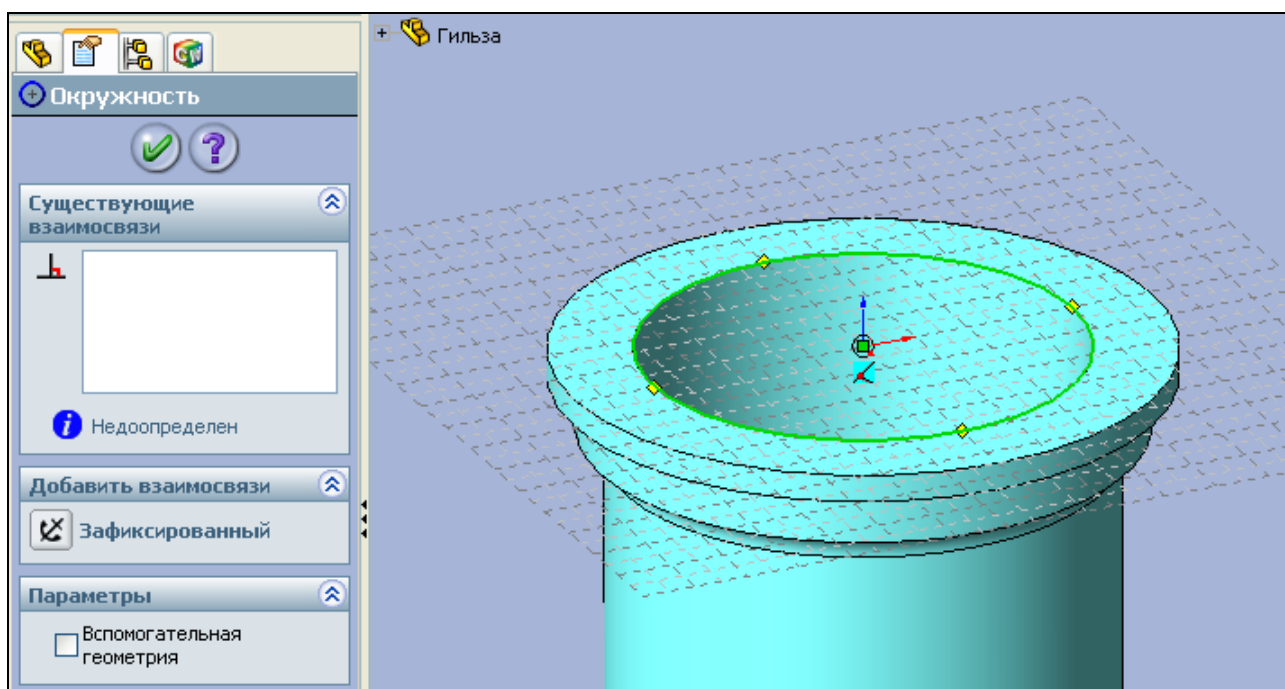
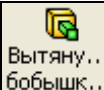



Рис. 8.2. Создание эскиза окружности

Теперь не выходя из режима рисования эскиза, переключите панель инструментов **Эскиз** на панель **Элементы**, нажав кнопку . В этой панели выберите инструмент  — **Вытянутая бобышка/основание**. Программа автоматически выберет редактируемый эскиз и попытается его вытянуть. Поскольку эскиз окружности является замкнутым, то он будет интерпретироваться как эскиз твердотельного объекта, а нам требуется, чтобы программа интерпретировала эскиз

как тонкостенный элемент, поэтому установите флажок в области **Тонкостенный элемент**. С помощью кнопки  — **Реверс направления** в области **Тонкостенный элемент** диалогового окна **Вытянуть** добейтесь того, чтобы направление натяжения материала происходило наружу (рис. 8.3). Затем с помощью стрелок произведите натяжение материала вдоль гильзы цилиндра (например, расстояние 30 мм).

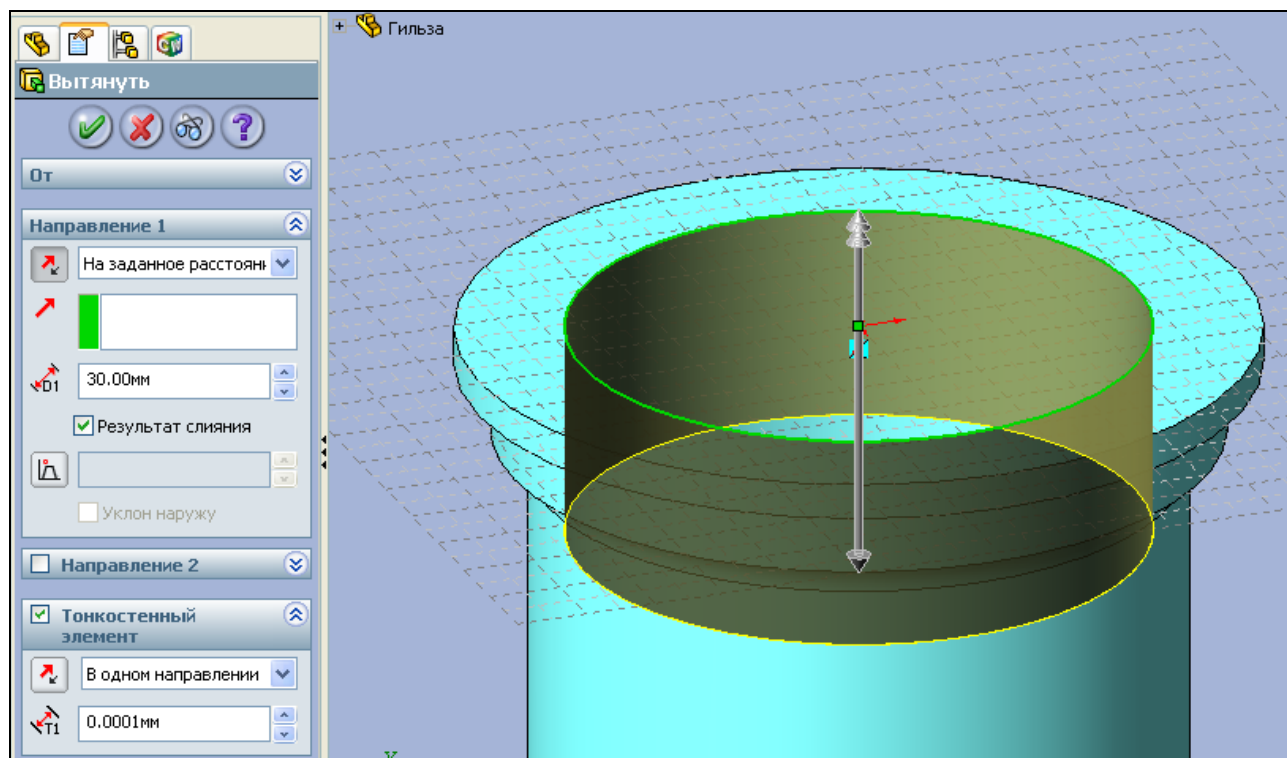





Рис. 8.3. Вытягивание поверхности для ограничения зоны нагрузки

Затем в окне **Толщина**  задайте величину вытягивания 0,0001 мм (см. рис. 8.3). Эта величина является минимальной толщиной, которая допускается программой при построении геометрии. Таким образом будет очерчена зона приложения нагрузки. Хотя геометрия гильзы несколько нарушается, но, тем не менее, это нарушение не повлияет на результаты прочностного расчета. Кроме того, необходимо установить флажок у параметра **Результат слияния**, тогда созданное вытягивание будет иметь с построенным поршнем одно тело. После задания всех параметров нажмите кнопку  **ОК**.

Теперь можно задать нагрузку – давление газов P_2 с учетом давления в кривошипной камере. Эта нагрузка является распределенной. Для этого нажмите на кнопку  — **Давление** в панели инструмен-

тов **COSMOSWorks** – **Нагрузки** или пройдите путь в главном меню **COSMOSWorks | Нагрузки/Ограничение | Давление**. Откроется диалоговое окно **Давление**, показанное на рис. 8.4.

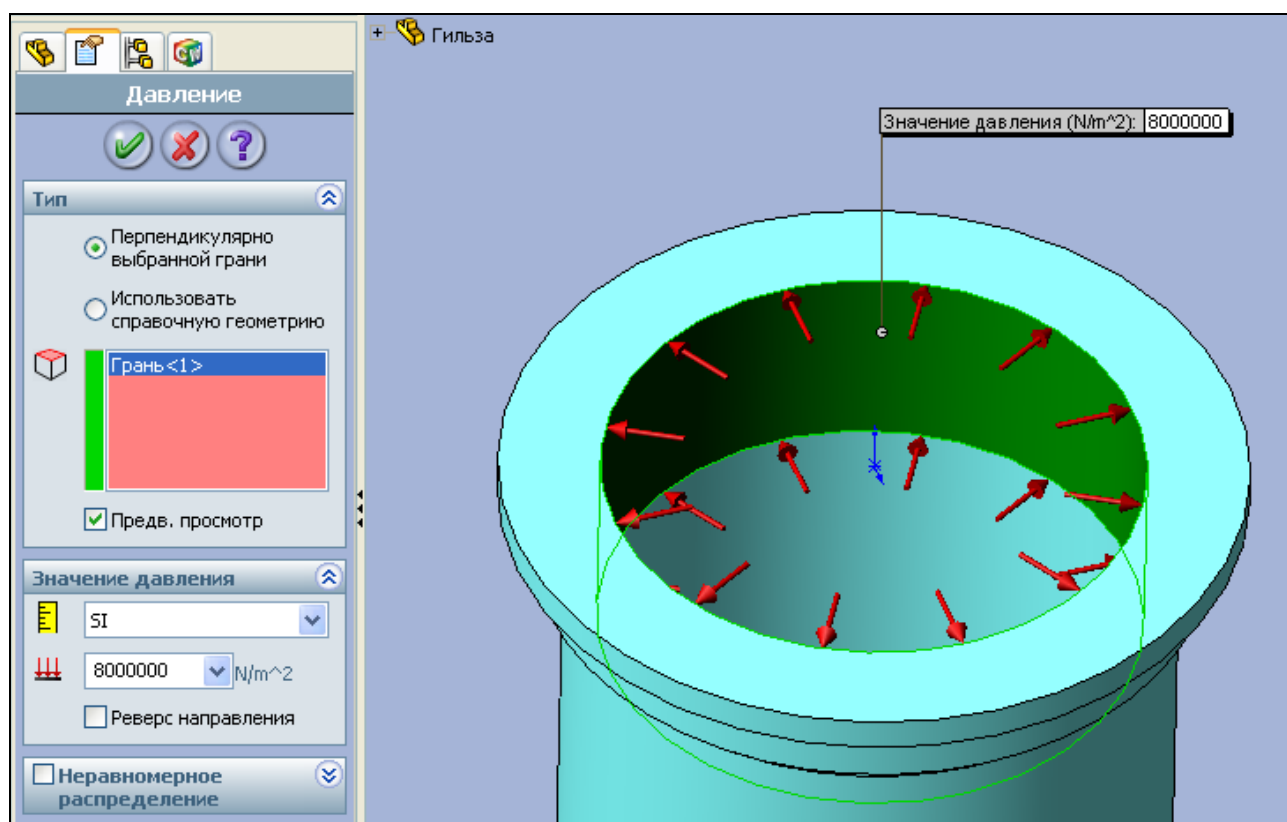








Рис. 8.4. Задание распределенной нагрузки на гильзу

В диалоговом окне щелкните мышью в области **Грани для давления**  и затем укажите построенную зону, являющейся зоной нагрузки (**Грань<1>**) (см. рис. 8.4). В области **Значение давления** задайте величину, например, 8 МПа, полученную из теплового расчета двигателя. Эта величина является максимальным давлением цикла. После задания всех параметров нажмите кнопку  **ОК**.

5. Теперь зададим боковое усилие N на гильзу цилиндра со стороны поршня. Поскольку боковое усилие действует не по всей образующей цилиндрической поверхности, а область действия силы ограничена зоной, составляющей примерно 1/6 часть окружности, то необходимо эту зону сформировать. Для этого перейдите в режим геометрических построений, нажав кнопку  — **Дерево конструирования**. Затем поверните модель гильзы нижней частью к себе и щелкните мышью по нижней грани (рис. 8.5) так, чтобы она подсветилась.

Откройте на этой грани эскиз, нажав на кнопку  — **Эскиз** в панели инструментов **Эскиз** или пройдите путь в главном меню **Вставка | Эскиз**. Программа перейдет в режим рисования эскиза. Затем с помощью инструмента  — **Центр дуги** в панели инструментов **Эскиз** постройте в эскизе на боковой поверхности гильзы цилиндра дугу так, как показано на рис. 8.5. Нажмите кнопку  **ОК**, чтобы закрыть диалоговое окно **Дуга**.

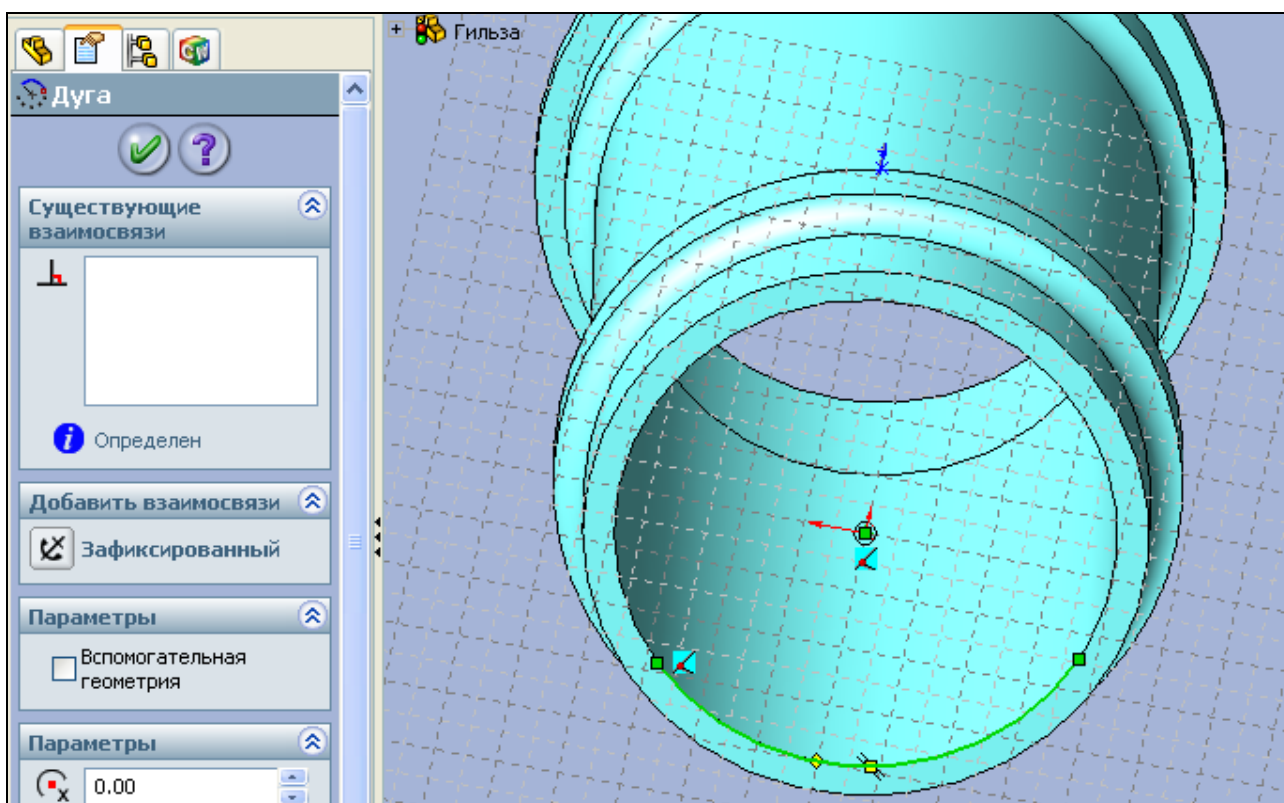





Рис. 8.5. Построение эскиза дуги для задания боковой нагрузки

Теперь не выходя из режима рисования эскиза, переключите панель инструментов **Эскиз** на панель **Элементы**, нажав кнопку . В этой панели выберите инструмент  — **Вытянутая бобышка/основание**. Программа автоматически выберет редактируемый эскиз и попытается его вытянуть. Поскольку эскиз дуги является незамкнутым, то он будет интерпретироваться как тонкостенный элемент. С помощью кнопки  — **Реверс направления** в области **Тонкостенный элемент** диалогового окна **Вытянуть** добейтесь того, чтобы направление натяжения материала происходило наружу (рис. 8.6). За-

тем с помощью стрелок произведите натяжение материала вдоль гильзы цилиндра (например, расстояние 40 мм).

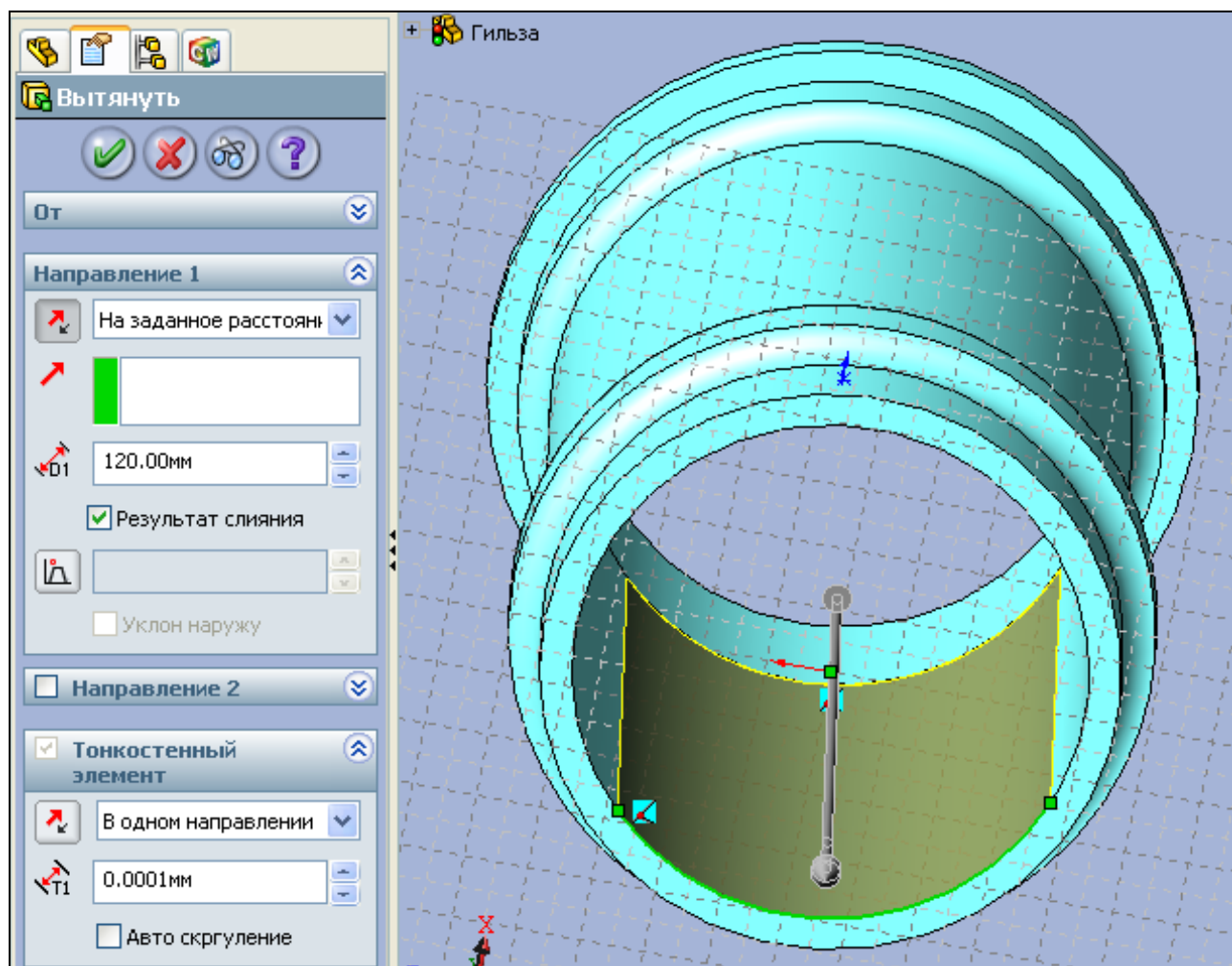





Рис. 8.6. Вытягивание материала для зоны нагрузки

Затем в окне **Толщина**  задайте величину вытягивания 0,0001 мм (рис. 8.6). Эта величина является минимальной толщиной, которая допускается программой при построении геометрии. Таким образом будет очерчена зона приложения нагрузки. Хотя геометрия гильзы несколько нарушается, но, тем не менее, это нарушение не повлияет на результаты прочностного расчета. Кроме того, необходимо установить флажок у параметра **Результат слияния**, тогда созданное вытягивание будет иметь с построенной гильзой одно тело. После задания всех параметров нажмите кнопку  **ОК**.

Теперь можно задать боковое усилие N на гильзу цилиндра со стороны поршня на только что построенную зону (эту силу необходимо получить из динамического расчета КШМ двигателя). Для этого перейдите в режим расчета на прочность и нажмите на кнопку  —

Сила в панели инструментов **COSMOSWorks** – **Нагрузки** или пройдите путь в главном меню **COSMOSWorks** | **Нагрузки/Ограничение** | **Сила**. Откроется диалоговое окно **Сила**, показанное на рис. 8.7.

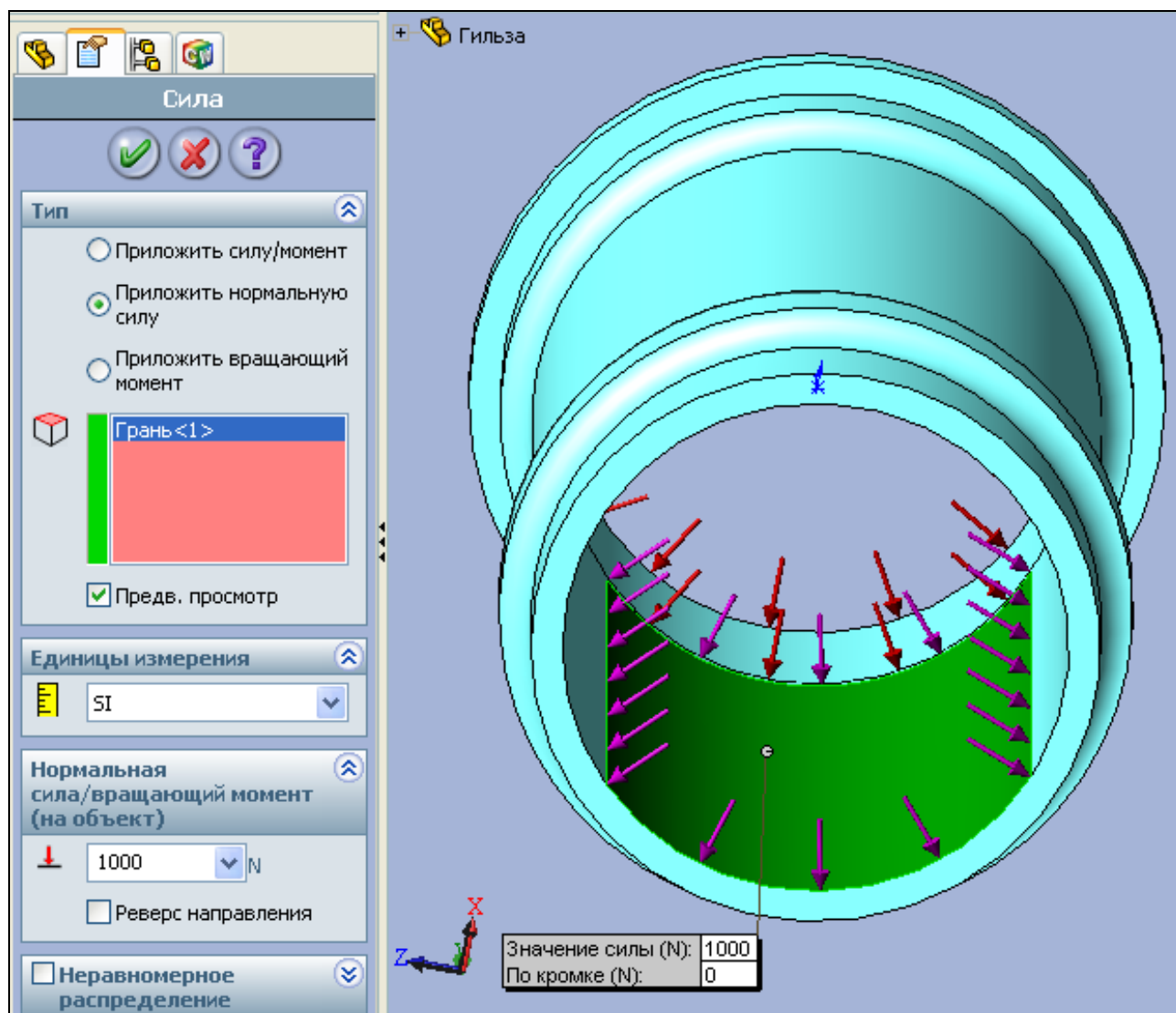






Рис. 8.7. Задание боковой нагрузки со стороны поршня

Сначала установите переключатель в положение **Приложить нормальную силу**, затем щелкните мышью в области **Грани для нормальной силы**  и далее укажите грань построенной зоны гильзы цилиндра (**Грань<1>**) (см. рис. 8.7). В области  — **Значение силы** задайте величину боковой силы, например, 1000 Н (максимальная величина боковой силы из динамического расчета). После задания всех параметров нажмите кнопку  **ОК**.

6. Далее зададим тепловую нагрузку на поверхность гильзы цилиндры с помощью средней температуры поверхности стенки. Для этого нажмите кнопку  — в панели инструментов **COSMOSWorks**

– **Нагрузки** или пройдите путь в главном меню **COSMOSWorks** | **Нагрузки/Ограничение** | **Температура**. Откроется диалоговое окно **Температура**, показанное на рис. 8.8.

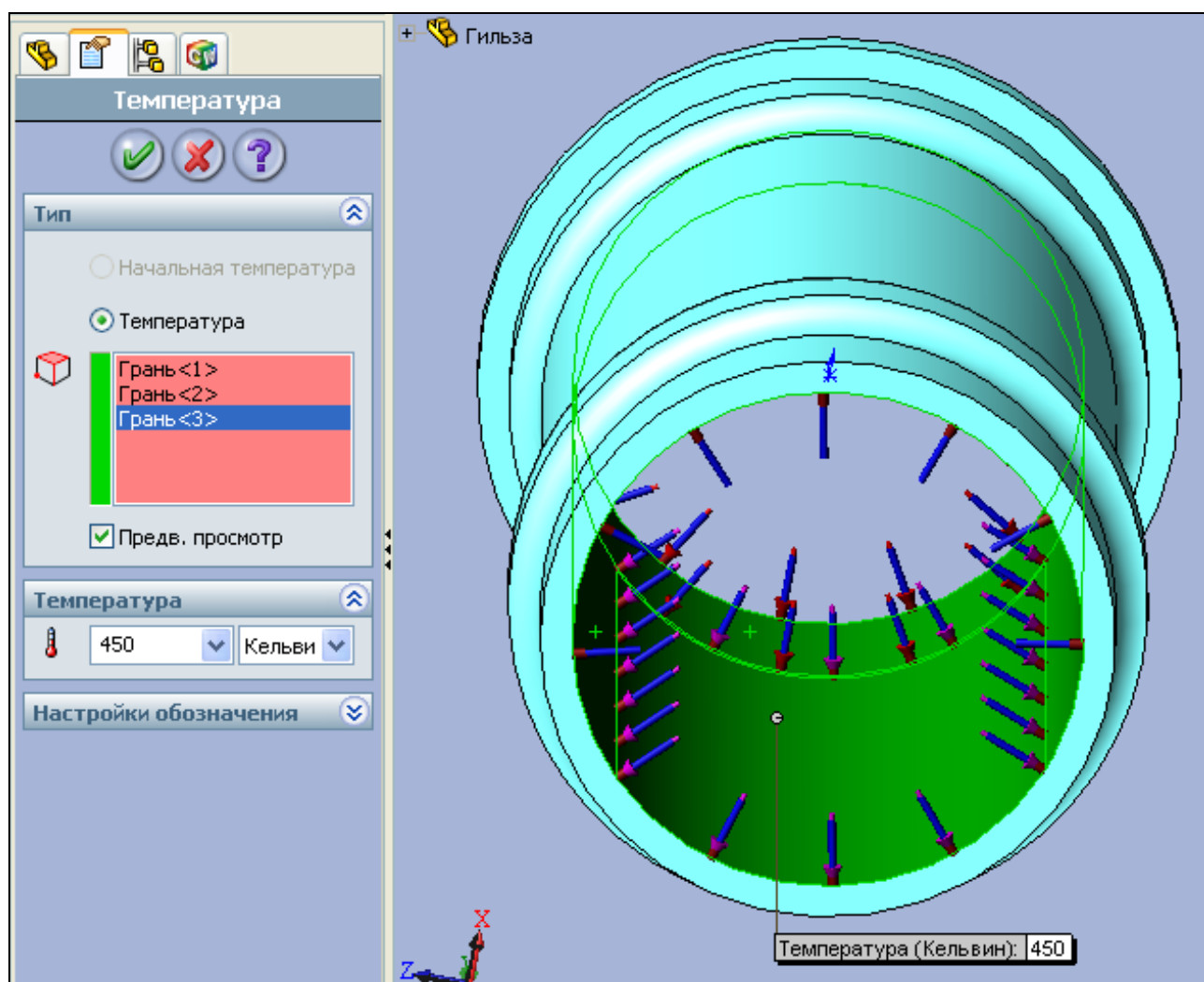





Рис. 8.8. Задание тепловой нагрузки на поверхность гильзы

В диалоговом окне щелкните мышью в области **Грани, Кромки, Вершины, Компоненты для температуры**  и затем укажите все внутренние грани гильзы цилиндра (см. рис. 8.8). В области **Температура** задайте величину, например, 450 Кельвин. При этом температура наружных стенок считается равной температуре окружающей среды. После задания всех параметров нажмите кнопку  **ОК**.

7. Осталось задать силу, действующую от блока цилиндров на опорные поверхности гильзы цилиндра. Но поскольку при рассмотрении детали вне связи с другими деталями сумма всех сил на эту деталь должна быть равна 0, то вместо задания силы на опорные поверхности можно их просто закрепить (граничное условие ограниче-

ния). Для этого нажмите на кнопку  — **Ограничения** в панели инструментов **COSMOSWorks – Нагрузки** или пройдите путь в главном меню **COSMOSWorks | Нагрузки/Ограничение | Ограничения**. Откроется диалоговое окно **Ограничение**, показанное на рис. 8.9.

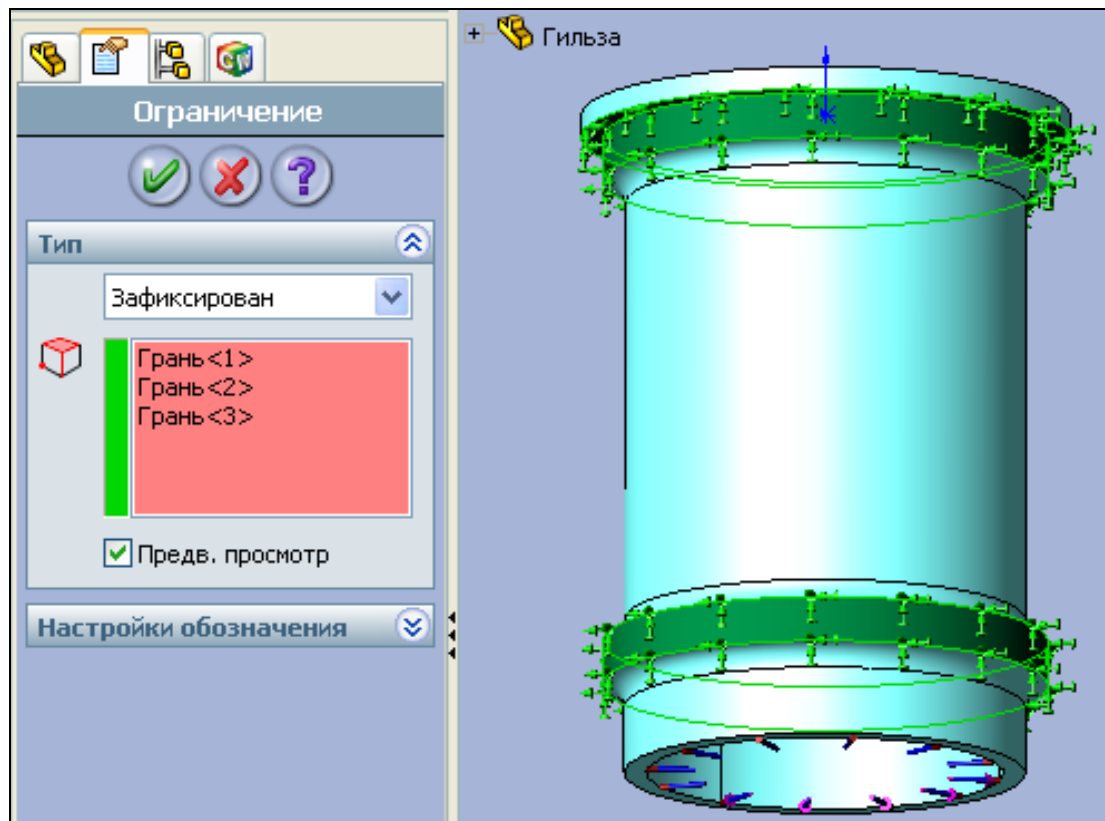




Рис. 8.9. Задание ограничения (фиксации) гильзы

Теперь просто щелкните мышью по граням опорных поверхностей гильзы цилиндра. Появление зеленых стрелочек указывает о выполнении команды. После задания ограничения нажмите кнопку  **ОК**.

8. После задания всех нагрузок и ограничений можно провести прочностной расчет. Для этого нажмите кнопку  — **Выполнить** в панели инструментов **COSMOSWorks – Основные функции** или пройдите путь в главном меню **COSMOSWorks | Выполнить**.

9. После успешного расчета проведите анализ напряженного состояния модели гильзы цилиндра с просмотром эпюр (рис. 8.10). Как строить эпюры, показано в пп. 11-17 разд. 3.2.

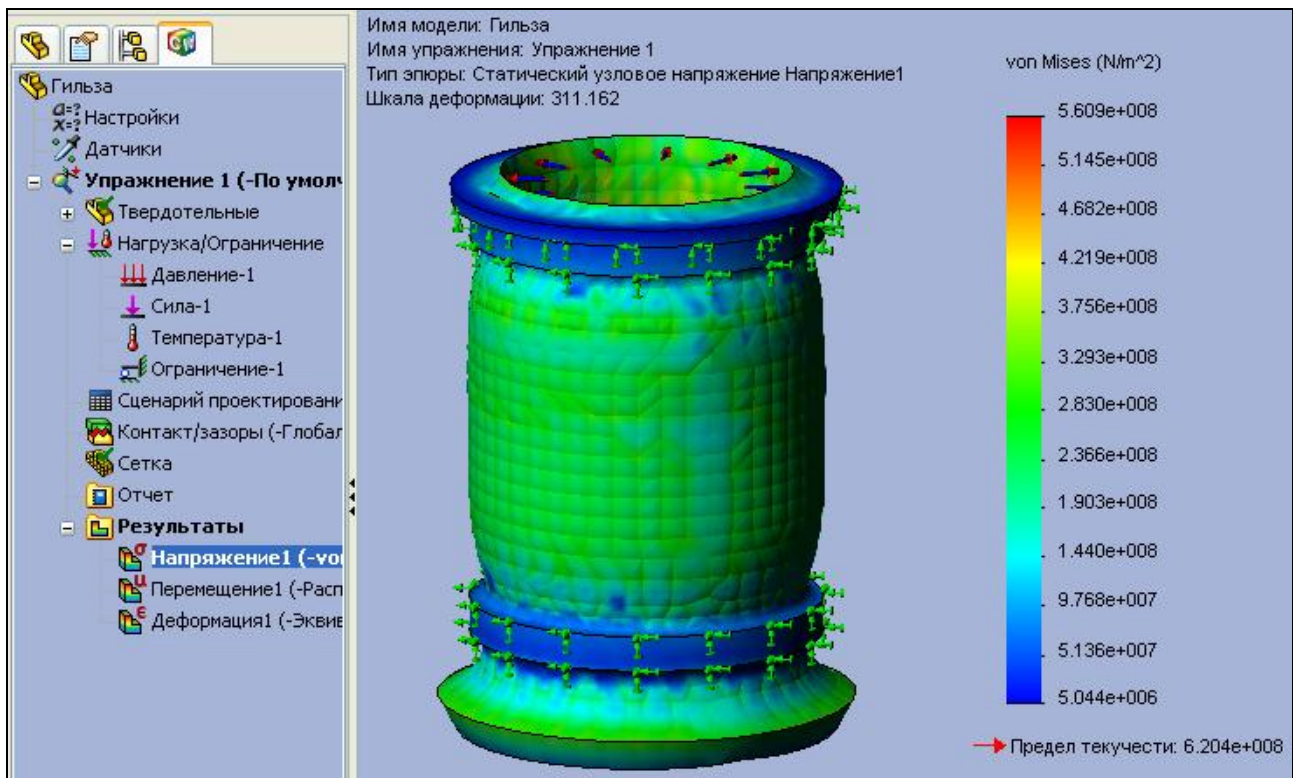


Рис. 8.10. Результаты расчета гильзы цилиндра

10. По результатам расчета проанализируйте полученные данные:

- определите максимальные напряжения, действующие в материале гильзы цилиндра;
- сравните с допускаемыми напряжениями;
- определите запас прочности гильзы цилиндра;
- сделайте заключение о работоспособности гильзы цилиндра.

11. Определите максимальные напряжения, деформации и запасы прочности в следующих элементах гильзы цилиндра:

- напряжения на внутренней стенке гильзы цилиндра;
- напряжения на наружной стенке гильзы цилиндра.

12. Защита лабораторной работы заключается в ответе студента на вопросы для контроля и дополнительные вопросы преподавателя.

8.3. Требования к содержанию и оформлению отчета

Результаты расчета оформляются в виде HTML-страницы с указанием опасных сечений детали и выводом максимальных и минимальных напряжений, действующих в материале. Порядок вывода отчета в COSMOSWorks показан в п.17 раздела 3.3.

8.4. Вопросы для контроля

1. Из каких материалов изготавливают гильзы цилиндров?
2. Какие напряжения испытывают гильзы цилиндров при работе двигателя?
3. Каким образом определяют толщину стенки гильзы цилиндра?
4. Какая нагрузка на гильзу цилиндра является наиболее опасной?
5. Какая нагрузка возникает в гильзе цилиндра под действием бокового давления поршня?
6. За счёт чего на стенке гильзы цилиндра возникают тепловые напряжения?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Яманин, А.И.** Компьютерно-информационные технологии в двигателестроении. / А.И. Яманин [и др.]. Под ред. проф. А.И. Яманина. – М.: Машиностроение, 2005. – 480 с.
2. **Алямовский А.А. и др.** SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике / Авторы: Алямовский А.А., Собачкин А.А., Одинцов Е.В., Харитонович А.И., Пономарев Н.Б. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.

Составители: ЗАГАЙКО Сергей Андреевич
РУДОЙ Игорь Борисович
САКУЛИН Роман Юрьевич

РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ НА БИОТОПЛИВАХ

Лабораторный практикум по COSMOSWorks

Подписано в печать __.__.2008. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman Cyr.

Усл. печ. л. __,__. Усл. кр.-отт. __,__. Уч.-изд. л. __,__.

Тираж 100 экз. Заказ № ____.

ГОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический университет

Центр оперативной полиграфии УГАТУ

450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12