

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича
Столетовых

Кафедра приборостроения и
информационно-измерительных технологий

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЁТ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ**

Составитель
Ю.С. КЛИМЕНКОВ

Владимир 2013

УДК 658.512.24

Рецензент

Кандидат технических наук, профессор, кафедры Электротехники и электроэнергетики Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых

Г.П. Колесник

Печатается по решению редакционного совета
Владимирского государственного университета

Моделирование и расчёт методом конечных элементов. Лабораторный практикум / Владимирский государственный университет; сост.: Ю.С. Клименков – Владимир, 2013. – 38 с.

Данное пособие содержит основные теоретические сведения о численном методе решения прикладных физических задач – методе конечных элементов и приёмы работы с инженерно-расчётным модулем «АНАЛИЗ» программного комплекса Tflex-CAD. В пособии представлены 5 практических задач, среди которых: расчёт напряжённно-деформированного состояния конструкций, расчёт устойчивости сжатого стержня (задача Эйлера), расчёт перемещений биметаллических пластин, расчёт термодинамических процессов в установившемся и нестационарных режимах, расчёт резонансных частот конструкций и соответствующих им форм колебаний. Предназначено для студентов (бакалавров, магистров), а также аспирантов, занимающихся вопросами компьютерного моделирования и расчёта конструкций, деталей, механизмов и протекающих физических процессов при их эксплуатации.

Табл. 3. Ил. 40. Библиогр.: 3 назв.

Представленные в пособии результаты конечно-элементного анализа получены с использованием демонстрационных и учебных версий программы и предназначены исключительно для образовательных целей.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с бурным развитием компьютерной техники и вычислительной математике изменился подход к решению различных инженерных задач. В настоящее время появилось огромное количество современного программного обеспечения, в основу которого положен метод численного решения различных физических задач – **метод конечных элементов (МКЭ)**. Суть метода состоит в создании аналитической модели исходной трёхмерной конструкции состоящей из совокупности элементарных объёмов заданной формы (конечных элементов). Конечные элементы объединены в систему и представляют собой конечно-элементную сетку. Таким образом, исходная конструкция (механизм, деталь) преобразуется в аналитическую модель, которая отражает её физическую сущность и свойства. Далее численными методами решаются системы уравнений применительно к элементарным объёмам (конечным элементам), в результате чего мы получаем адекватное описание поведения всей конструкции (механизма, детали) при наложении граничных условий.

Математическое моделирование с помощью подобного подхода позволит проанализировать поведение конструкции в заданных условиях без её физического изготовления, что позволит значительно сократить материальные и временные затраты.

Лабораторная работа №1

Моделирование напряжённо-деформированного состояния конструкции

Цель работы: оценить напряжённое состояние конструкции, находящейся под воздействием не изменяющихся во времени (статических) нагрузок.

Задача: Средствами T-flex «Анализ» выполнить статический анализ, предложенной преподавателем конструкции (приложение 1). Оптимизировать конструкцию таким образом, чтобы распределений напряжений было более равномерным, а минимальный коэффициент запаса прочности не уменьшился. Выполнить расчёт массы детали до и после оптимизации (средствами Компас 3D). Сделать выводы по изменению материалоёмкости.

Порядок выполнения:

1. С помощью САПР трёхмерного моделирования КОМПАС построить деталь в соответствии с вариантом задания (приложение 1).
2. Сохранить деталь в формате STEP для последующей передачи в программу Tflex-Cad. (рис.1.1). В появившемся окне *Запись файла формата STEP* нажать кнопку <начать запись>.

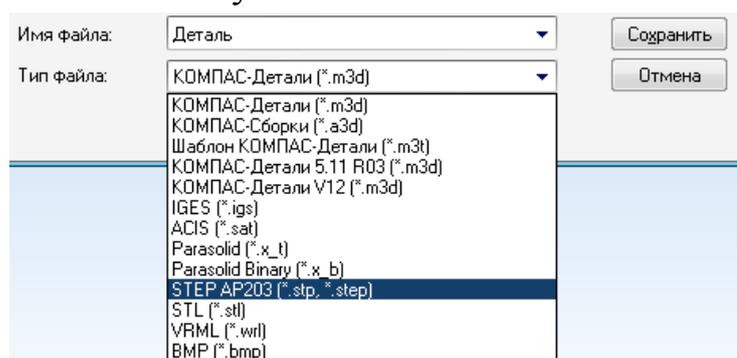


Рис.1.1

3. Запустите программу Tflex-Cad. В меню <Файл> выберите <Новая 3D модель>, затем <Импортировать>. В открывшемся окне *Импорт* выберите сохранённую ранее деталь.

4. В открывшемся окне STEP конвертер нажмите **Старт**. Созданная в САПР КОМПАС деталь импортируется в программу Tflex-Cad.

5. В закладке <Анализ> выбираем <Новая задача> <Конечно-элементный анализ> (рис.1.2) и в окне <Новая задача> <Статический анализ>.

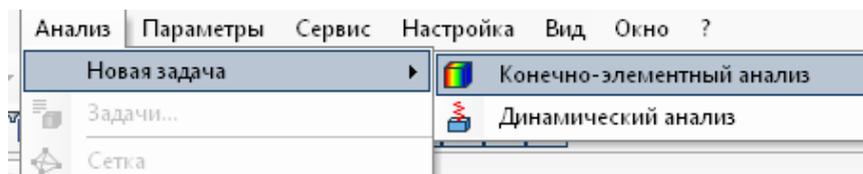


Рис.1.2

С помощью модуля статический анализ можно провести оценку прочности разрабатываемой конструкции по допускаемым напряжениям, определить наиболее «слабые» места конструкции, и наоборот места конструкции с минимальными напряжениями. Анализируя полученные результаты можно оптимизировать конструкцию по материалоемкости, «усилить» слабые места и удалив лишний материал с менее нагруженных областей.

В окне элементы задачи должны отображаться те компоненты, для которых будет проводиться расчёт. Это может быть грань, ребро, тело или несколько тел, если конструкция представляет собой сборку. Выбрать элементы задачи можно с помощью соответствующих кнопок (рис. 1.3). Заканчиваем ввод, активируя кнопку

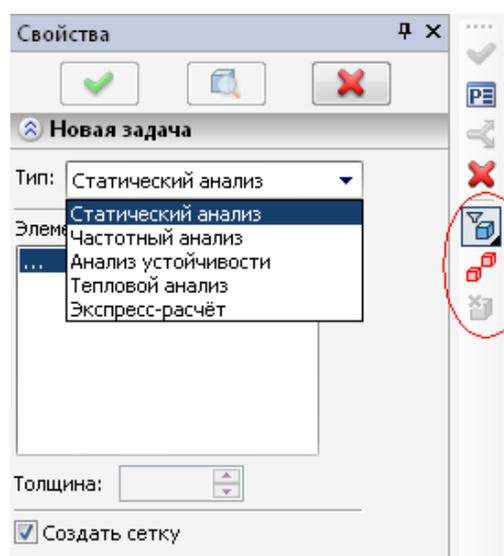


Рис.1.3

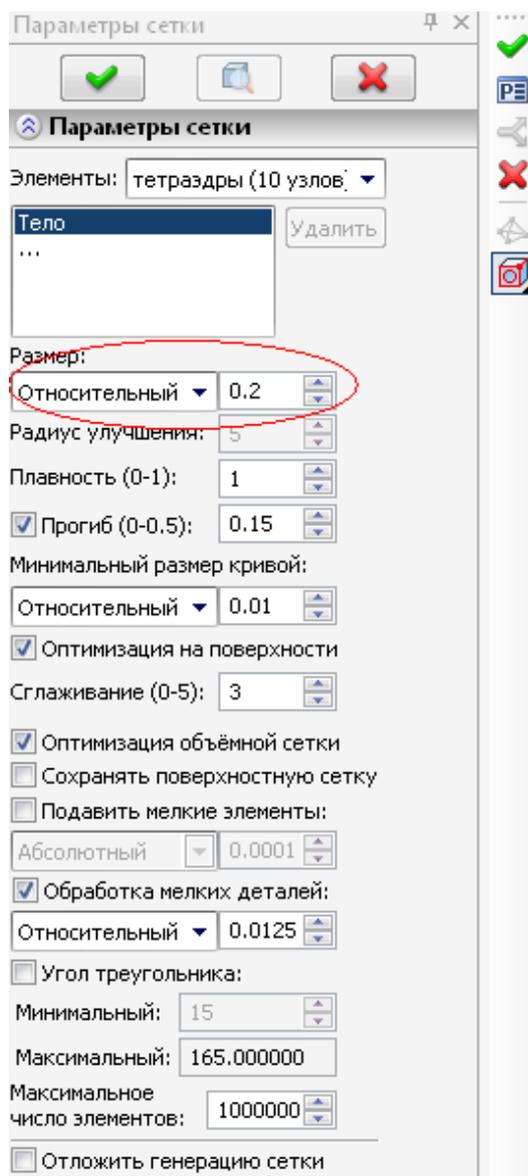


Рис.1.4

6. На следующем этапе генерируем конечно-элементную сетку. Сетка состоит из объёмов тетраэдральной формы и позволяет с высокой точностью аппроксимировать геометрию сколь угодно сложной конструкции.

Окно с настройками изображено на рис.1.4.

Сетка конечных элементов с настройками по умолчанию (Размер – относительный – 0.2) является очень грубой даже для оценочных расчётов, т.к. не позволяет адекватно описать геометрию модели. Поэтому изменим относительный размер сетки на 0.02. Однако следует помнить, что чрезмерное уменьшение сетки увеличивает время её построения, а также время анализа. Поэтому при выборе относительного размера сетки следует учитывать производительность компьютера (достаточный объём оперативной памяти, 2-х и более ядерный процессор).

Изменив размер сетки, нажимаем кнопку . Процесс генерации конечно-элементной сетки запущен. В окне *Генерация сетки* (рис. 1.5) отображаются количество элементов, содержащихся в сетке. На рис. 1.6 изображена деталь, содержащая конечно-элементную сетку.

7. Далее выбираем материал детали с помощью команды меню <Анализ> <Материал>. В появившемся окне (рис. 1.7) отображаются физические свойства выбранного материала и единицы измерения.

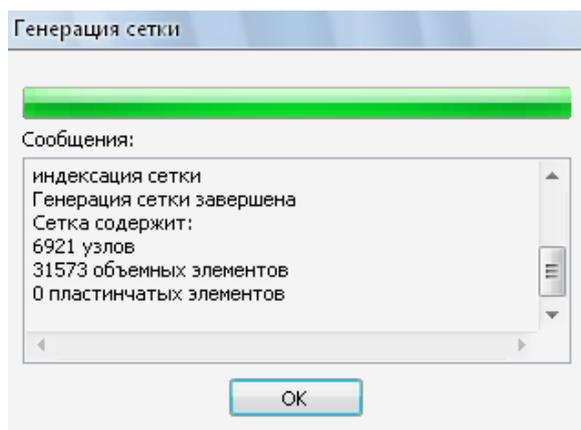


Рис.1.5

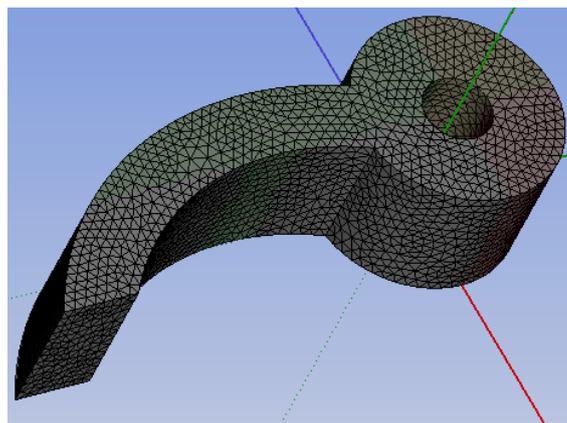


Рис.1.6

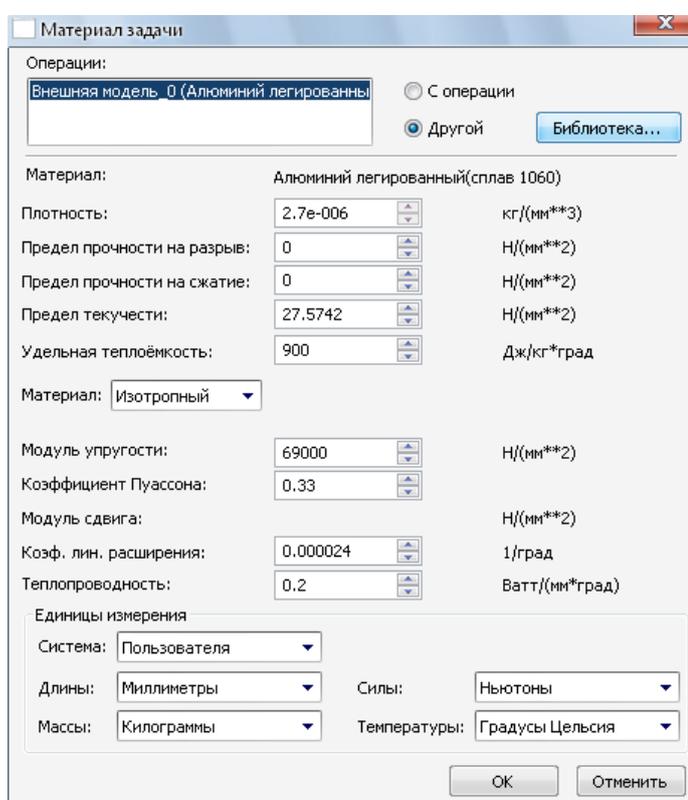


Рис.1.7

Материал детали можно выбрать *с операции* или из библиотеки, поставив флажок. Флажок с операции будет означать то, что материал, присвоенный детали в программе КОМПАС будет импортирован в T-flex. По умолчанию это Сталь 10 ГОСТ 1050. Чтобы выбрать материал из библиотеки, нужно нажать соответствующую кнопку (<Библиотека>) и в открывшемся окне выбрать необходимый материал.

8. Далее нужно выбрать граничные условия, которые могут отличаться в зависимости от типа моделируемой физической задачи. Выполните команду меню <Анализ> <Ограничение> (рис.1. 8).



Рис.1.8

Для задания закреплений в T-flex Анализе предусмотрены две команды <Полное закрепление> и <Частичное закрепление>. Команда <Полное закрепление> ограничивает перемещение детали по всем осям системы координат, другими словами блокирует все степени свободы, т.е. полностью её фиксирует. Команда <Частичное закрепление>

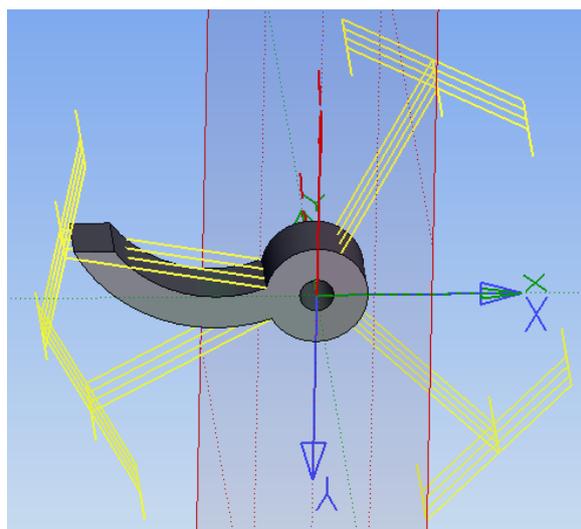


Рис.1.9

позволяет ограничить перемещение детали только по выбранным осям системы координат. Важно помнить, что для обеспечения статического расчёта модель должна иметь закрепление, исключающее её свободное перемещение в пространстве как твёрдого тела, в противном случае результаты расчёта могут сильно отличаться от действительности. В нашем случае выбираем полное закрепление детали по грани «ушка», щёлкая по ней мышкой. Закрепление должно сформироваться, как показано на рис. 1. 9. Линиями жёлтого цвета отображается закрепление. Нажимаем кнопку .

9. Следующим шагом будет задание нагрузжений. Выполните команду меню <Анализ> <Нагружение> (рис. 1.10).

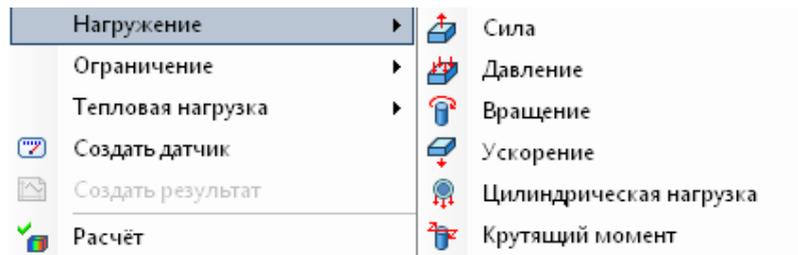


Рис.1.10

Для задания закреплений в T-flex Анализе предусмотрены следующие команды: <Сила>, <Давление> <Вращение> <Ускорение> <Цилиндрическая нагрузка> <Крутящий момент>. Это механические нагрузки, которые применяются при моделировании линейных и нелинейных задач статического анализа прочности конструкций. Более подробно ознакомится с настройками этих команд можно в «Руководстве пользователя T-flex» [1]. В нашем случае выбираем нагрузку <Давление>. В появившемся окне *Параметры давления* (рис.1.11) выбираем тип нагрузки равномерное, а в поле значение указываем нагрузку согласно варианту задания (Приложение 1). Давление задаём, как показано на рис. 1.12. Стрелками красного цвета показан вектор давления. Нажимаем кнопку .

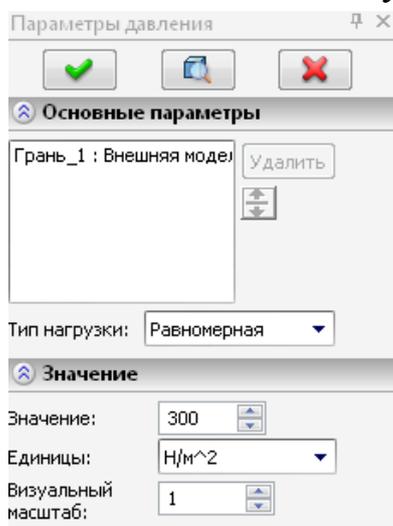


Рис.1.11

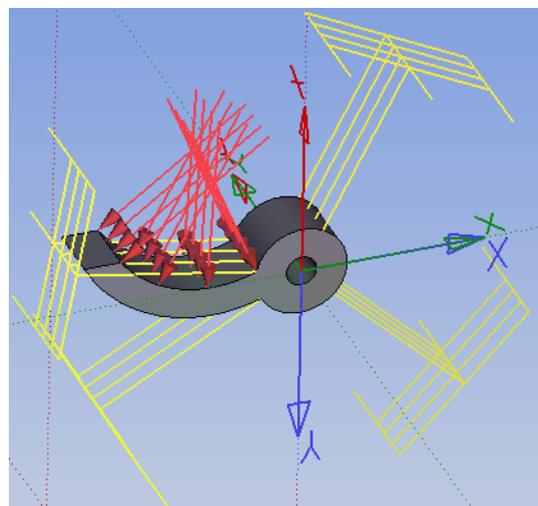


Рис.1.12

10. Выполните команду <Анализ> <Показать окно задач>. Оно должно выглядеть, как показано на рис. 1.13.

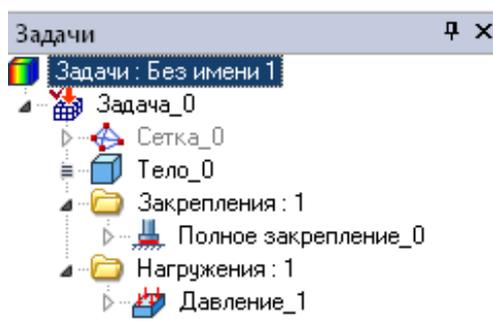


Рис.1.13

Элементы задачи (параметры сетки, закрепления, нагружения) всегда можно изменить, нажав правой кнопкой мыши и в открывшемся контекстном меню выбрать команду <Изменить>.

11. Далее выбираем команду <Анализ> <Расчёт>. Появится окно, изображённое на рис. 1.14. На соответствующих закладках окна <Параметры задачи> имеется возможность настройки различных параметров расчёта. Оставляем все настройки по умолчанию и нажимаем ОК.

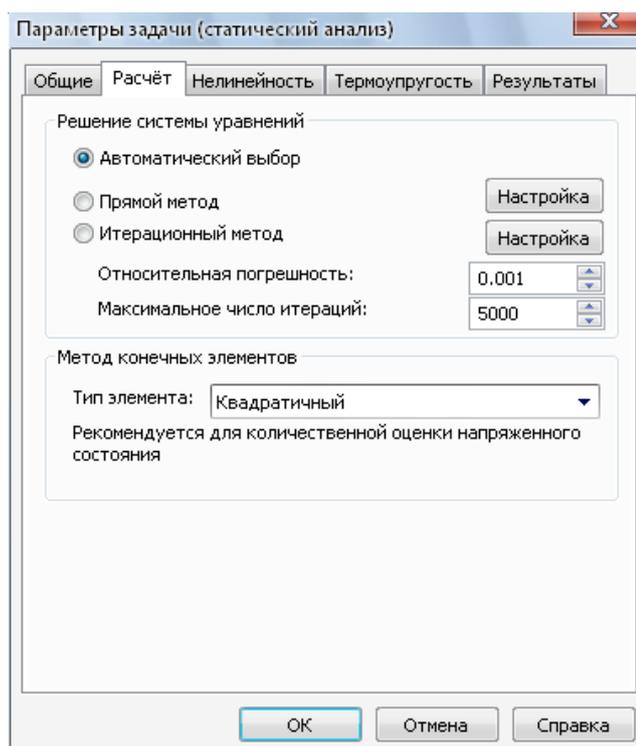


Рис.1.14

12. После выполнения расчёта в *Окне задач* появится папка результатов. Раскрыв папку двойным щелчком мыши, можно увидеть документы с результатами (рис.1.15).

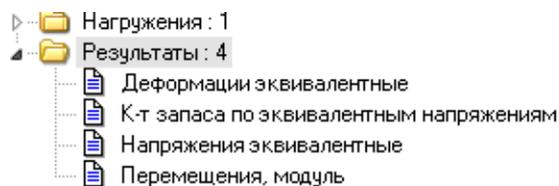


Рис.1.15

Просмотрим получившиеся результаты. Открыв документ <Напряжения эквивалентные>, увидим окно постпроцессора, изображённое на рис. 1.16.

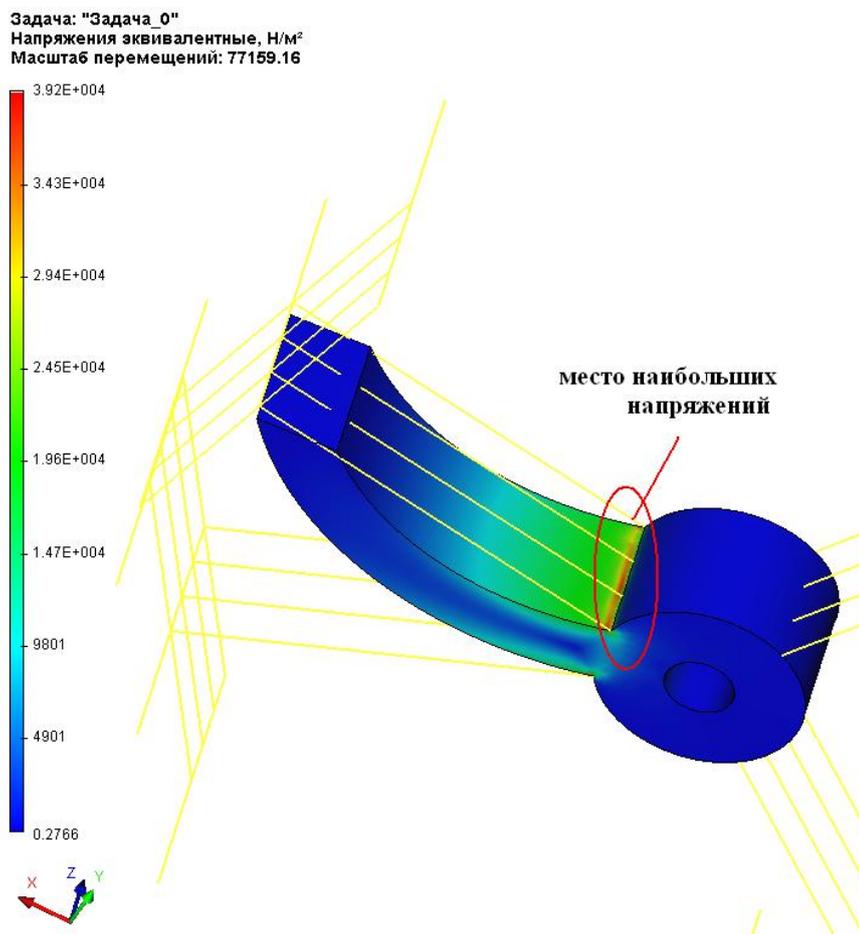


Рис.1.16

Проанализировав результаты можно сделать вывод о том, что наибольшие напряжения возникают в месте соединения «крючка» и «ушка» детали. Значение этих напряжений в месте соединения порядка $34300 - 39200 \text{ Н/м}^2$. Открыв документ <Коэффициент запаса по эквивалентным напряжениям>, можно увидеть, что данный параметр = 703,4. Условия задачи следующие: нагрузка 300 Н/м^2 , закрепление – полное, материал – алюминий легированный (сплав 1060).

13. Окно настройки постпроцессора изображено на рис. 1.17. Щёлкните мышкой в пределах окна визуализации результата. Для более наглядной интерпретации результатов необходимо чтобы был активирован флажок *Цветовая раскраска*. Флажок *Фоновая анимация* включает режим анимации, при котором величина деформации постепенно меняется от нуля до рассчитанного значения.

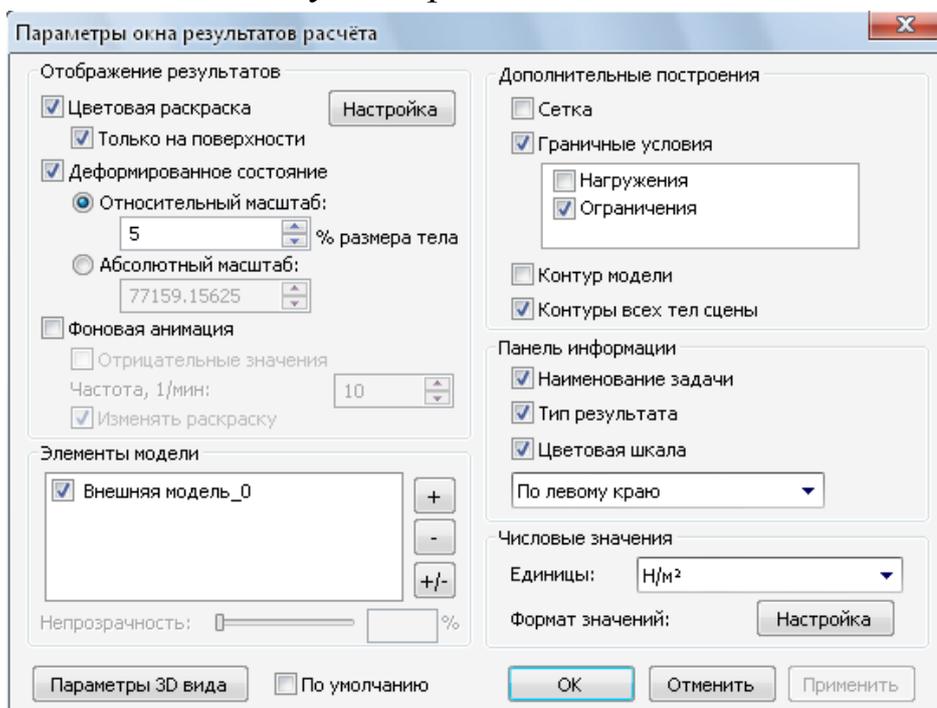


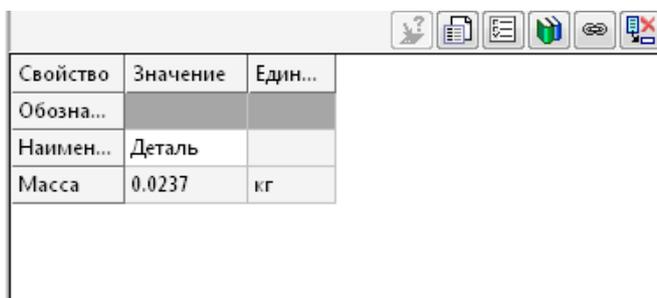
Рис.1.17

14. Для генерации отчёта по результатам моделирования в T-flex Анализе предусмотрена команда <Отчёт>. Для этого в окне задач нужно выделить  **Задача_0**, нажать правую кнопку мыши и в контекстном меню выбрать команду <Отчёт>. В результате в формате

html сгенерируется отчёт с содержанием всех параметров моделирования и результатами.

15. Теперь оптимизируем деталь таким образом, чтобы распределений напряжений было более равномерным, а минимальный коэффициент запаса прочности не уменьшился. Сделаем выводы по материалоемкости детали.

Масса детали до оптимизации – 23,7 грамм (рис.1.18). Определить массу можно выполнив команду <Свойства модели> нажав правой кнопкой мыши на детали в дереве модели САПР КОМПАС 3D.



Свойство	Значение	Един...
Обозна...		
Наимен...	Деталь	
Масса	0.0237	кг

Рис.1.18

Для этого добавим материала в область наибольших напряжений (позиция 1) и сократим длину крючка (позиция 2) (рис.1.19). Детали «До» и «После» оптимизации изображены на рис.1.20.

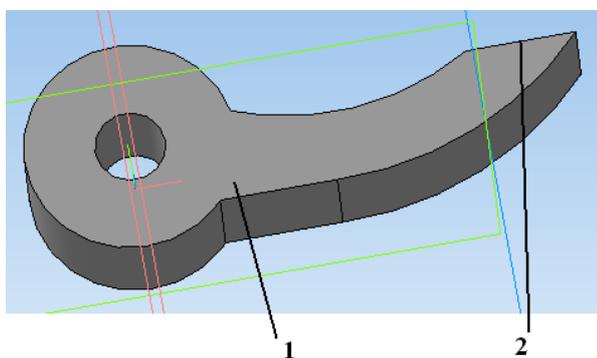


Рис.1.19

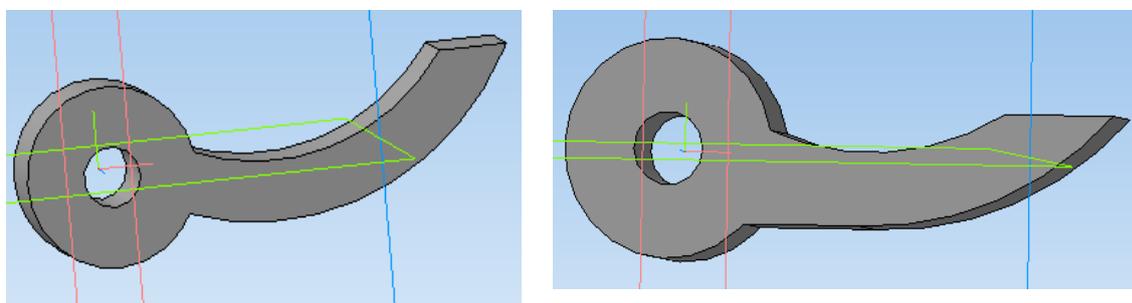


Рис.1.20

Масса детали после оптимизации равна 21.5 грамм.

15. Выполним <Статический анализ> для модифицированной детали (пункты 2-12). Открыв документ <Напряжения эквивалентные>, увидим окно постпроцессора, изображённое на рис. 1.21.

Из рисунка видно, что значение максимальных напряжений в месте соединения уменьшилось и стало порядка 17250 – 19600 Н/м². Открыв документ <Коэффициент запаса по эквивалентным напряжениям>, можно увидеть, что данный параметр увеличился и стал равен 1407.

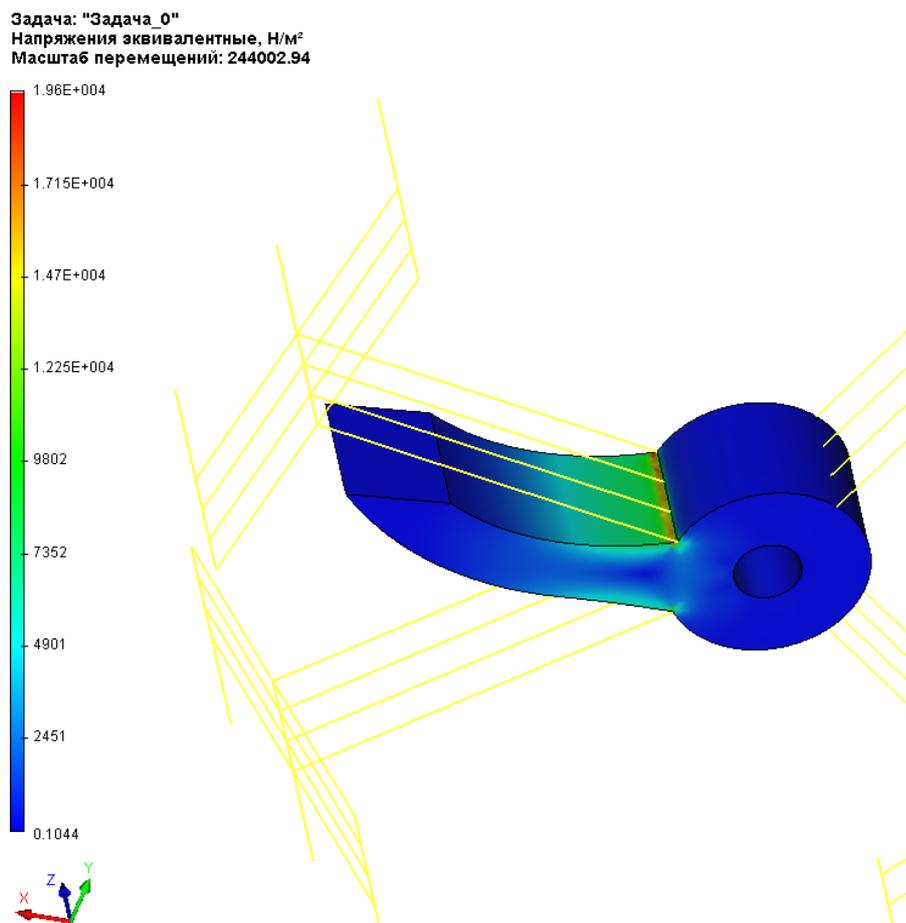


Рис.1.21

Таким образом, из вышеизложенного можно сделать вывод, что коэффициент запаса по эквивалентным напряжениям увеличился практически в 2 раза, а материалоёмкость уменьшилась при этом приблизительно на 10%.

Лабораторная работа №2 Расчёт устойчивости сжатого стержня

Цель работы: оценить значение критической нагрузки, при которой конструкция может потерять устойчивость, а также оптимизировать конструкцию с целью достижения условия надёжности.

Задача: Средствами T-flex «Анализ» оценить устойчивость центрально сжатого прямого стержня полого внутри (Задача Эйлера) (рис.2.1 А). Размеры стержня даны в приложении 2 согласно варианту задания. Определить критическую нагрузку, при которой стержень теряет устойчивость. Добавить в модель рёбра жёсткости таким образом, чтобы увеличить критическую нагрузку для первой формы устойчивого критического состояния более чем на 20%. Сделать выводы по изменению материалоемкости. Выполнить сквозные отверстия в центре стержня диаметром согласно варианту задания (Приложение 2) (рис.2.1 Б). Оценить какое влияние на устойчивость они окажут.

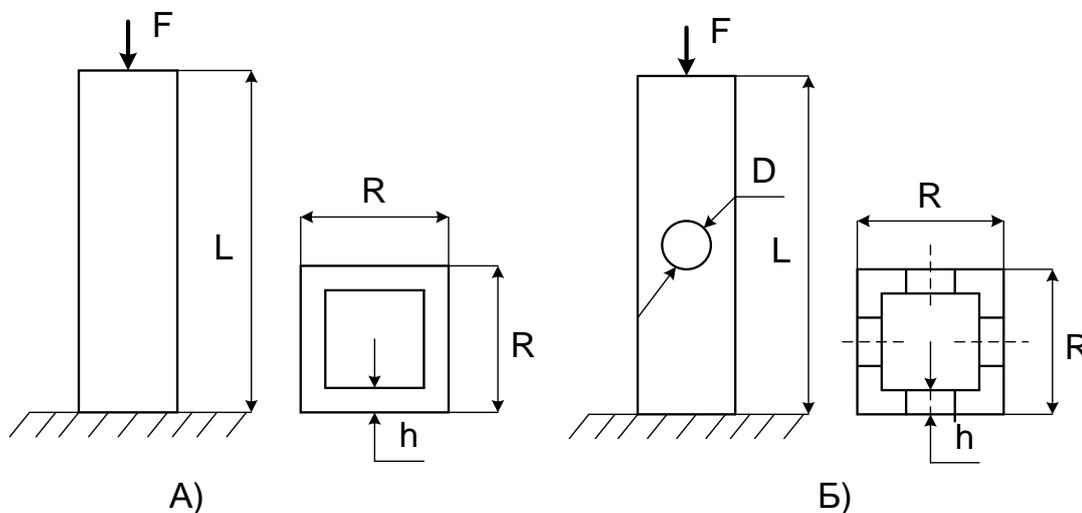


Рис. 2.1

Порядок выполнения:

1. Подготовить в программе КОМПАС 3D конструкцию стержня с размерами, согласно варианту.

2. Экспортировать модель в программу T-flexCad. Методика экспорта описана в ЛР №1.

3. В закладке <Анализ> выбираем <Новая задача> <Конечно-элементный анализ> и в окне <Новая задача> <Анализ устойчивости>. Нажимаем .

С помощью модуля *Анализ устойчивости* можно вычислить коэффициент критической нагрузки, при действии которой конструкция может скачкообразно перейти в новое равновесное состояние, т.е. потерять устойчивость. При достижении сжимающей силы F некоторой критической величины прямолинейная форма равновесия длинного стержня оказывается неустойчивой. Подобное состояние называется потерей устойчивости. В случае потери устойчивости деформации могут привести к разрушению конструкции. для данной конструкции можно определить по следующей формуле , где

– коэффициент критической нагрузки; – фактически приложенная нагрузка.

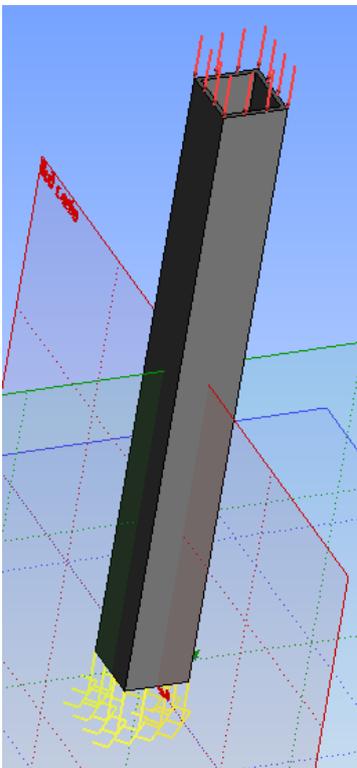


Рис.2.2

4. Генерируем конечно-элементную сетку, изменив её относительный размер на 0.02.

5. Выбираем материал, согласно варианту задания (Приложение 2). В нашем случае это сталь AISI 1020.

6. Выбираем <Полное закрепление> по нижней грани стержня (рис.2.2)

7. Задаём нагружение в виде силы – 50 000 Н на противоположную грань стержня (рис.2.2). Если при данном воздействии расчётный коэффициент критической нагрузки оказался меньше единицы, значит при данной силе F конструкция не устойчива. Необходимо уменьшить нагрузку.

8. выбираем команду <Анализ> <Рас-

чёт>. При данных параметрах расчёта коэффициент критической нагрузки равен 6.1. Откуда можно сделать вывод, что конструкция устойчива. Модуль относительных перемещений – в верхней части стержня, где приложена нагрузка, равен приблизительно 1 мм (рис.2.3).

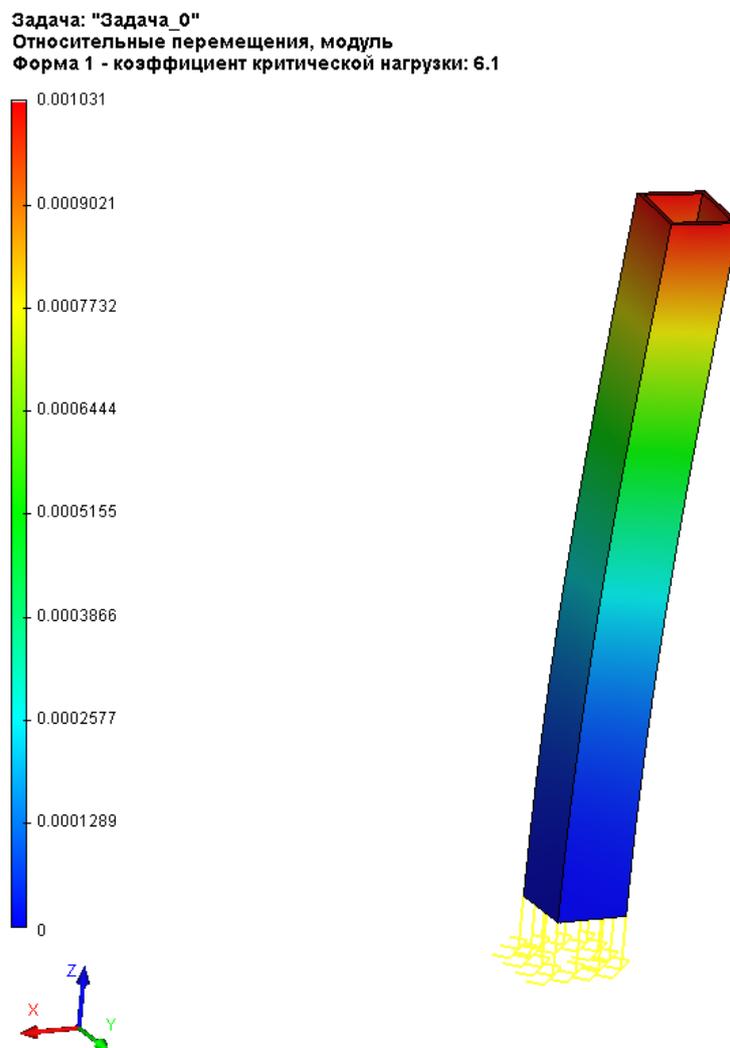
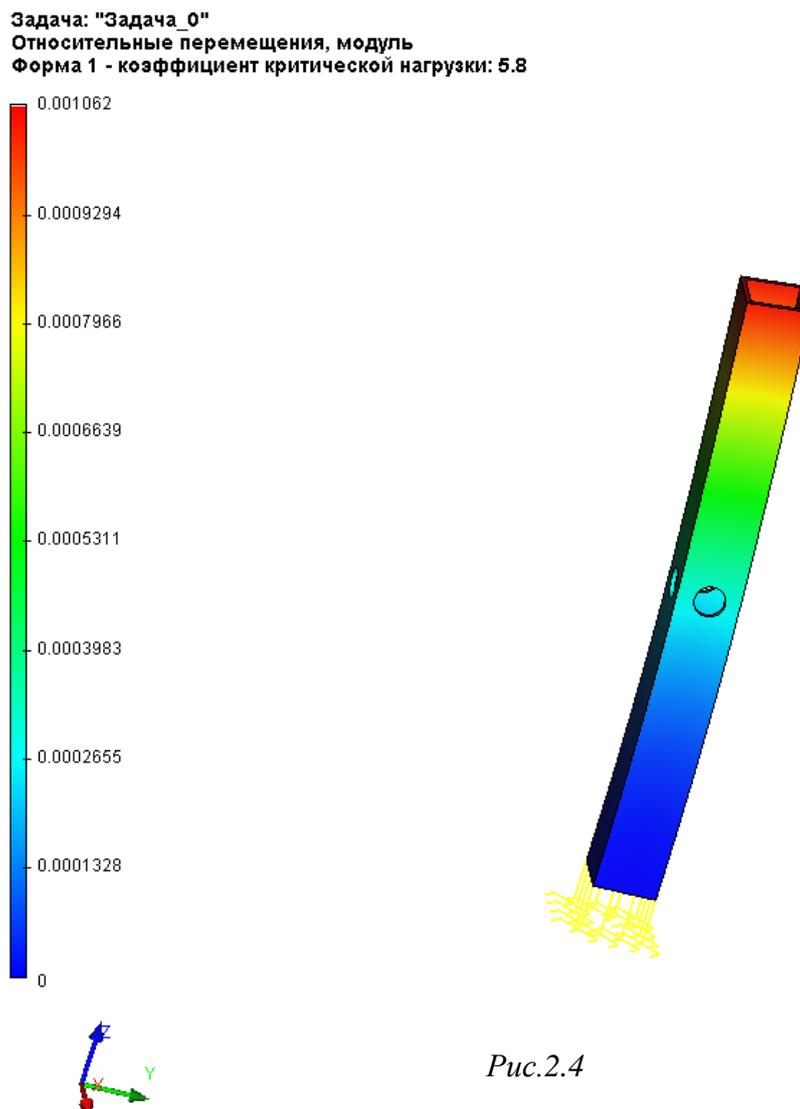


Рис.2.3

Проведём расчёт, добавив отверстия, как указано в задании. Можно увидеть, что коэффициент критической нагрузки уменьшился до 5.8 (рис 2.4). Критическая сила уменьшилась на 15 000 Н. Модуль относительных перемещений – в

верхней части стержня, где приложена нагрузка, увеличился на 3 СО-
ТЫХ ММ.



9. Далее студенты должны самостоятельно добавить рёбра жё-
сткости, таким образом, чтобы увеличить коэффициент критической
нагрузки не менее чем на 20%.

Лабораторная работа №3

Расчёт биметаллических реле температуры

Цель работы: научиться рассчитывать деформации, которые возникают в биметаллической пластине из-за сил линейного расширения под действием приложенной температуры.

Задача: Средствами T-flex «Анализ» провести моделирование перемещения свободного конца биметаллической пластины в зависимости от температуры. Средствами MS Excel построить статическую характеристику 3-х типов биметаллических пластин.

Порядок выполнения:

1. Подготовить в программе КОМПАС 3D сборку, состоящую из двух биметаллических пласти. Размеры сборки следующие: длинна – 100 мм, ширина –10 мм, высота 6 мм.

2. Экспортировать модель в программу T-flexCad. Методика экспорта описана в ЛР №1.

3. В закладке <Анализ> выбираем <Новая задача> <Конечно-элементный анализ> и в окне <Новая задача> <Статический анализ>. Выбираем все элементы задач (кнопка ) так, чтобы в окне элементы задачи появилось два фрагмента. Нажимаем .

4. Генерируем конечно-элементную сетку, изменив её относительный размер на 0.02.

5. Выбираем материал из библиотеки T-flex таким образом, чтобы коэффициенты линейного расширения металлических пластин как можно больше отличались. Например, для одного металла выбираем вольфрам, для другого никель.

6. Выбираем <Полное закрепление> одного конца биметаллической пластины (выделено жёлтыми линиями на рисунке 3.1), и закрепление типа <Контакт> <Жёсткая связь> по грани, соединяющей две пластины (выделено рамкой зелёного цвета) (рис.3.1).

7. Выбираем команду <Анализ> <Расчёт>. В открывшемся окне в закладке *Термоупругость* ставим флажок *Учитывать термоэффекты*. (рис.3.2).

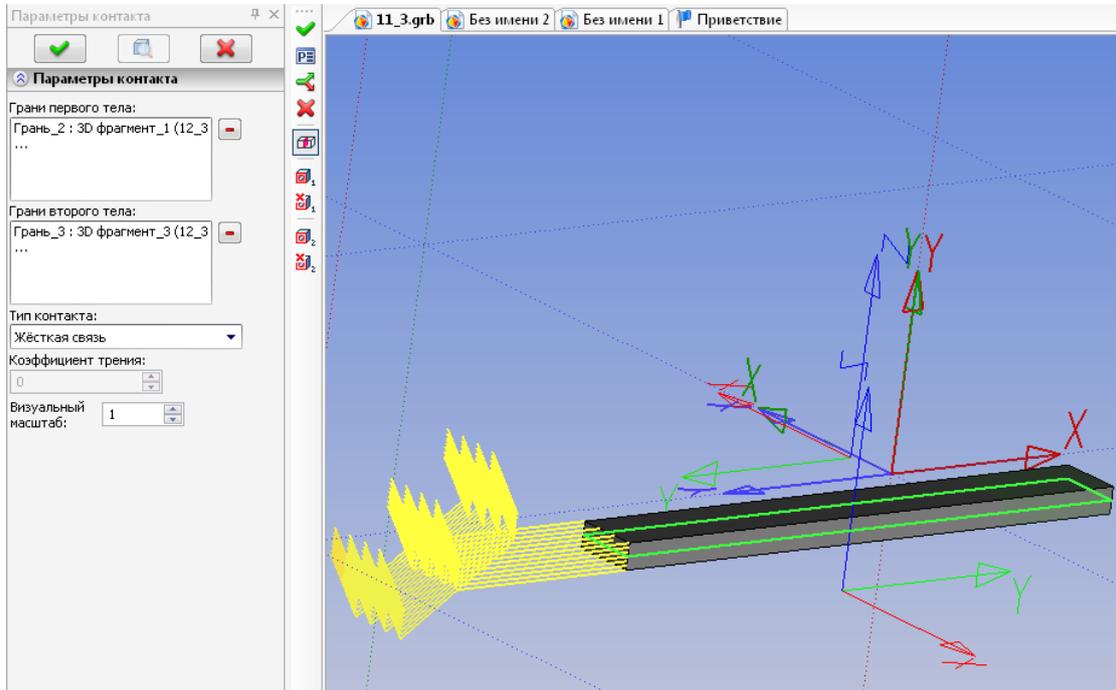


Рис.3.1

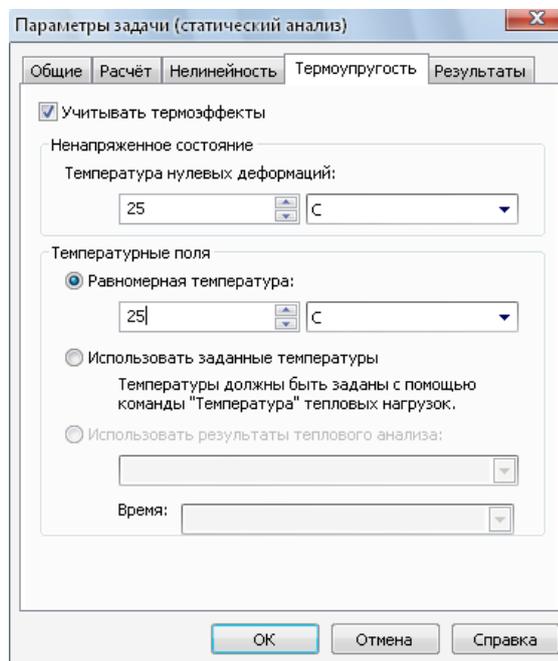


Рис.3.2

Температура нулевых деформации – это начальная температура тела, при которой деформации отсутствуют.

Равномерную температуру изменяем согласно таблице 3.1.

Таблица. 3.1

Материал пластин		Равномерная температура (°C)									
		50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
1	Перемеще.мм										
2											
3											

Проводим расчет. В результатах расчёта нас интересует только документ <Перемещения>. Анализируем три различных соединения биметаллов и строим графики зависимости перемещения конца биметаллической пластины от температуры по таблице 3.1. Делаем соответствующие выводы.

Пример расчёта перемещения конца биметаллической пластины при температуре 400°C, материал (вольфрам-никель) приведён на рис. 3.3. Из рисунка следует, что при данной температуре свободный конец пластины переместился на 6.944 мм.

Задача: "Задача_0"
Перемещения, модуль, м

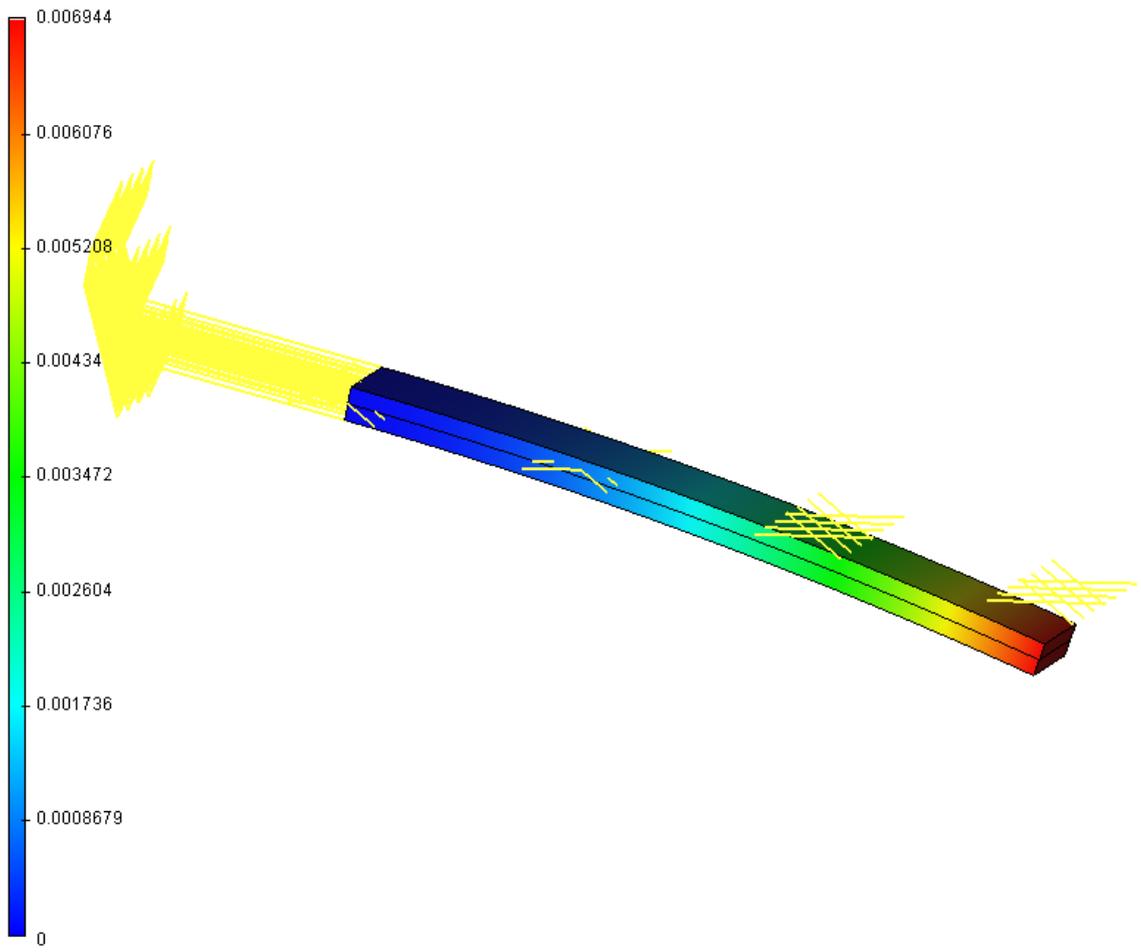


Рис.3.3

Лабораторная работа №4

Расчёт пассивного радиатора охлаждения микросхемы

Цель работы: научиться рассчитывать эффективность радиаторов охлаждения микросхем.

Задача: Средствами T-flex «Анализ» оценить эффективность пассивного радиатора охлаждения.

1. Определить максимальную температуру окружающей среды, при которой корпус микросхемы нагреется не выше максимально допустимой температуры (Приложение 3). Использовать *Установившейся режим*.

2. Построить графики зависимости температуры нагревания корпуса микросхемы во времени для различных материалов радиатора (медь, алюминий, никель, латунь, сталь). Сделать соответствующие выводы. Использовать *Нестационарный процесс*.

Порядок выполнения:

1. Подготовить в программе КОМПАС 3D сборку, состоящую из микросхемы (1) и радиатора (2) (рис.4.1). Так чтобы микросхема плотно прилегала к радиатору (без воздушных зазоров). Размеры сборки представлены в таблице 4.1.

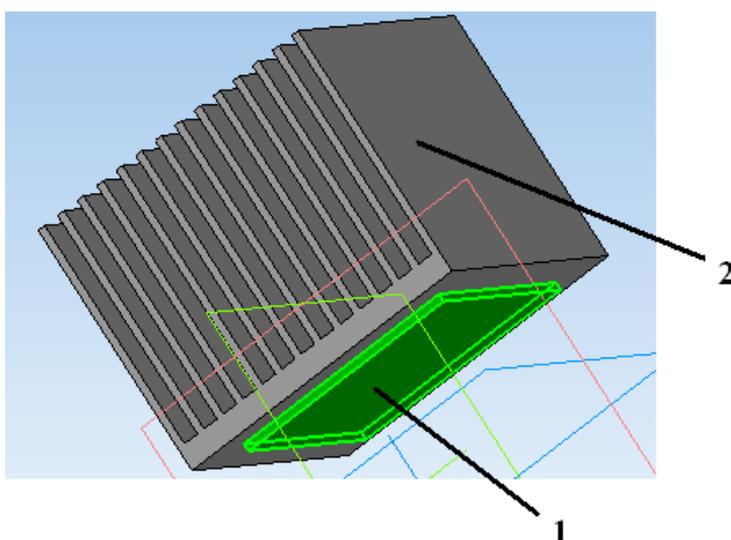


Рис.4.1

Таблица 4.1

Микросхема			Радиатор							
Д	Ш	В	Размеры КП			Размеры гребней				
30	30	1	Д	Ш	В	Д	Ш	В	Кол-во	РМГ
			40	40	3	40	1	30	14	2

Д,Ш,В – длина, ширина, высота;

КП – контактная площадка;

РМГ – расстояние между гребнями.

2. Экспортировать модель в программу T-flexCad. Методика экспорта описана в ЛР №1.

3. В закладке <Анализ> выбираем <Новая задача> <Конечно-элементный анализ> и в окне <Новая задача> <Тепловой анализ>. Выбираем все элементы задач (кнопка ) , так, чтобы в окне элементы задачи появилось два фрагмента. Нажимаем  .

Модуль *Тепловой анализ* предназначен для решения задач теплопроводности и теплопередачи. Возможны два режима теплового анализа: *Установившейся режим* и *Нестационарный процесс*. Выбрать нужный режим можно установив флажок в окне *Параметры задачи (тепловой анализ)* после применения команды <Анализ> <Расчёт> (рис. 4.2).

Разница заключается в том, что в установившемся режиме расчёт распределения температурных полей и тепловых потоков берётся в предположении бесконечно-длительного периода времени, прошедшего после приложения тепловых нагрузок. Температура тела не изменяется. Процесс «установился». В режиме *Нестационарный процесс* распределение температурных полей и тепловых потоков осуществляется в функции времени, т.е. имеется возможность в определённом заранее временном интервале (конечное время моделирования рис. 4.2) рассчитать температурные поля и тепловые потоки в каждый момент времени (временной шаг).

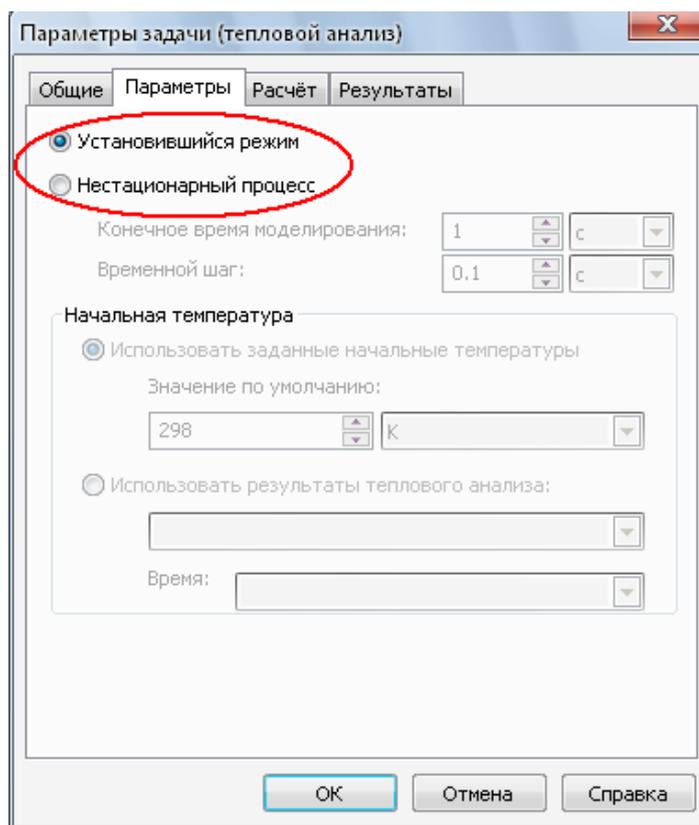


Рис.4.2

4. Генерируем конечно-элементную сетку, изменив её относительный размер на 0.02.

5. Выбираем материал радиатора – медь, а материал корпуса микросхемы – алюминий.

6. Выполняем команду <Анализ> <Тепловая нагрузка> (рис. 4.3).

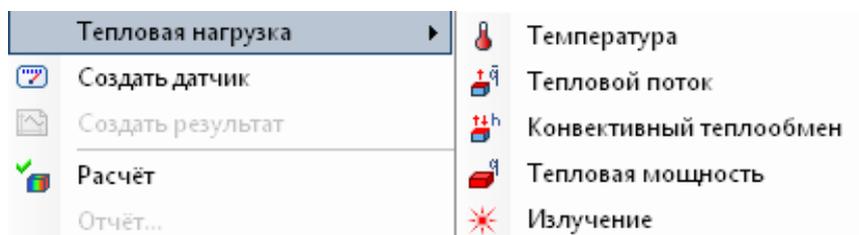


Рис.4.3

В нашей задаче необходимо приложить следующие тепловые нагрузки: ко всему объёму микросхемы мы применяем <Тепловая мощность>, а ко всем граням радиатора – <Конвективный теплообмен>. Подробно ознакомиться с тепловыми нагрузками можно в [1]. Задаём тепловую мощность, согласно варианту задания (Приложение 3).

Конвективным теплообменом называется процесс переноса тепла между поверхностью твёрдого тела и окружающей средой (газ, жидкость). В нашем случае это воздух.

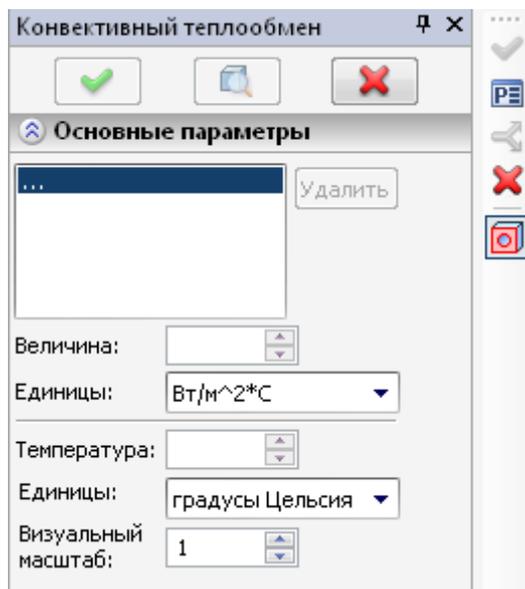


Рис.4.3

Окно настройки конвективного теплообмена представлено на рис. 4.3. Областью применения нагрузки может быть только грань . В поле *величина* вводим коэффициент теплоотдачи. Поскольку коэффициент теплоотдачи зависит от многих факторов (геометрические параметры радиатора, температура окружающей среды, приведённая степень черноты, наличие или отсутствие обдува и т.д.) и расчёт его достаточно сложный, то воспользуемся существующими результатами рас-

чётов и экспериментов. В нашем случае зададим коэффициент – 20 Вт/м²*С. Зададим температуру окружающей среды – 25°С. Выделяем все грани радиатора (в нашем случае должно получиться 57 граней). Нажимаем . После выделения всех граней сборка радиатор – микросхема будет выглядеть следующим образом (рис. 4.4).

7. Выбираем команду <Анализ> <Расчёт>. В открывшемся окне флажок должен быть установлен в положение *Установившейся режим*. Нажимаем ОК.

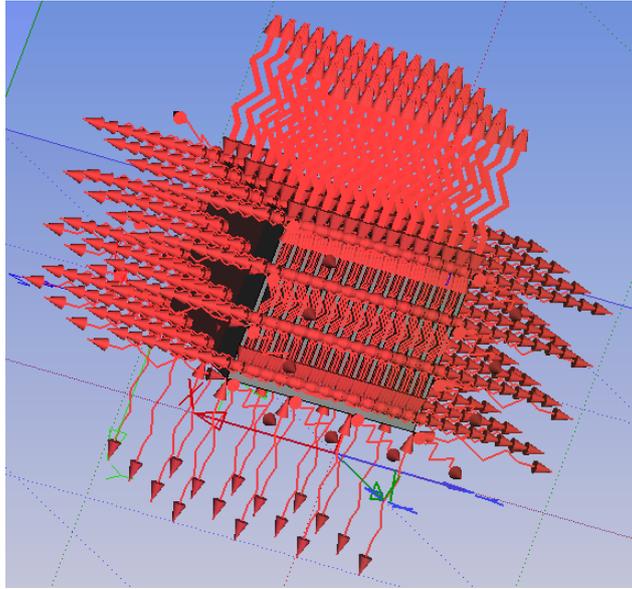


Рис.4.4

8. Открываем документ <Температура>. Результаты расчёта представлены на рис. 4.5.

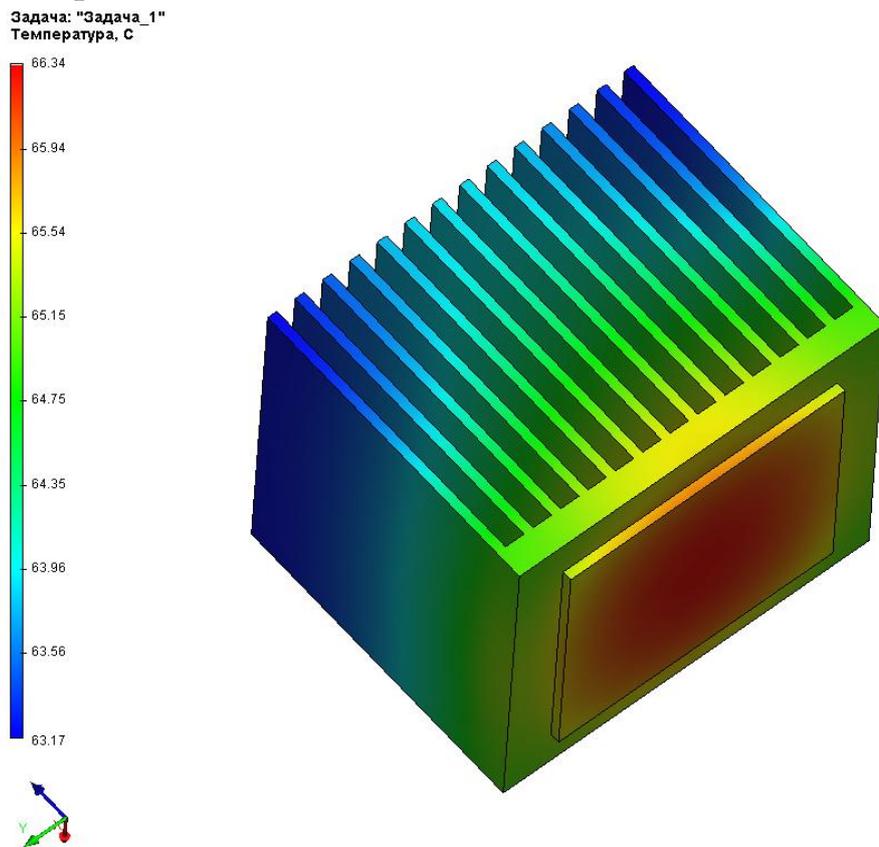


Рис.4.5

Из рисунка следует, что при данных параметрах расчёта и температуре окружающей среды 25°C корпус микросхемы нагреется до 66.34 градусов. А радиатор нагревается градиентно. Отсюда можно сделать вывод, что радиатор при данных условиях эффективно отводит тепло (корпус микросхемы не нагревается выше допустимого – 90°C).

Далее постепенно увеличивайте температуру окружающей среды и определите, при каких её значениях корпус микросхемы прогреется выше допустимого (Приложение 3.)

9. Для того чтобы построить графики зависимости температуры нагревания корпуса микросхемы во времени для различных материалов радиатора необходимо использовать *Нестационарный процесс*. Для этого выберите материал радиатора, после применения команды <Анализ> <Расчёт> установите флажок на *Нестационарный процесс* (рис. 4.2). В поле *Конечное время моделирования* выставите значение 15 минут, а *временной шаг* сделайте равным 15 сек. В поле *Использовать заданные начальные температуры* – *Значение по умолчанию* поставьте 25°C. После окончания расчёта откройте документ <Температура>. Результат будет такой же, как на рисунке 4.5. Это означает, что за заданные 15 минут, процесс установился и дальше температура меняться не будет. Чтобы посмотреть температуру в любой момент времени в интервале 15-ти минут нужно активировать панель *Временной процесс*. Для этого нажмите правой кнопкой мыши в пределах окна визуализации результата и в контекстном меню выберите *Временной процесс*. Перемещая ползунок, можно увидеть, как нагревается сборка микросхема – радиатор в любой момент времени в интервале 15 минут. На рисунках 4.6-4.9 изображён нагрев сборки микросхема - радиатор в следующие моменты времени: 15 сек., 60 сек., 150 сек., 240 сек.

Задача: "Задача_0"
Температура, С
Время: 15.00 с

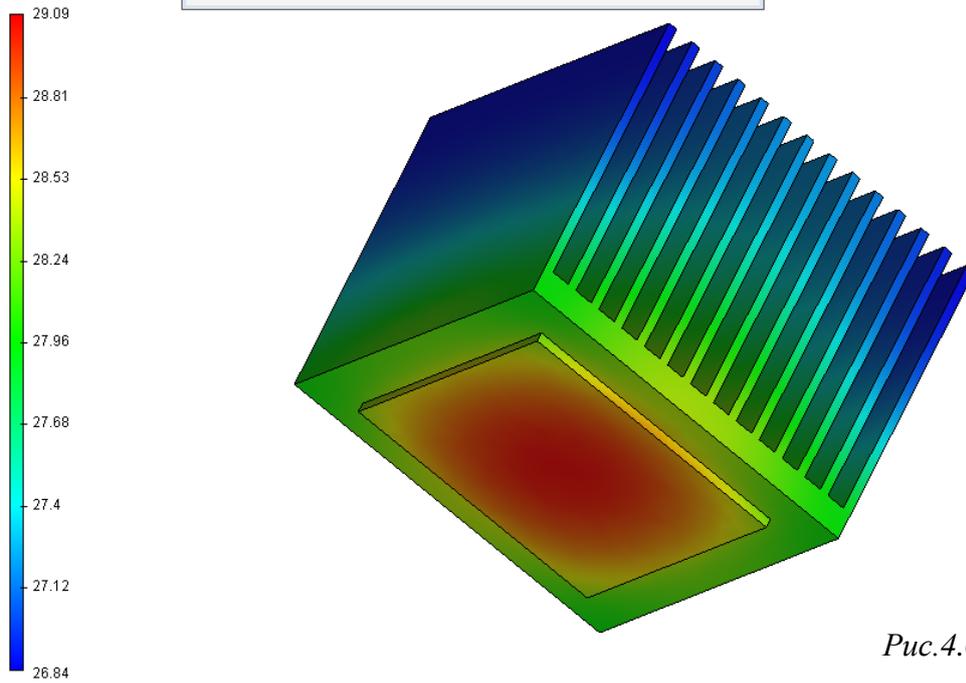
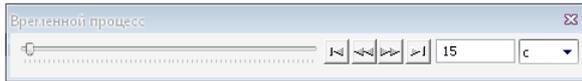


Рис.4.6

Задача: "Задача_0"
Температура, С
Время: 60.00 с

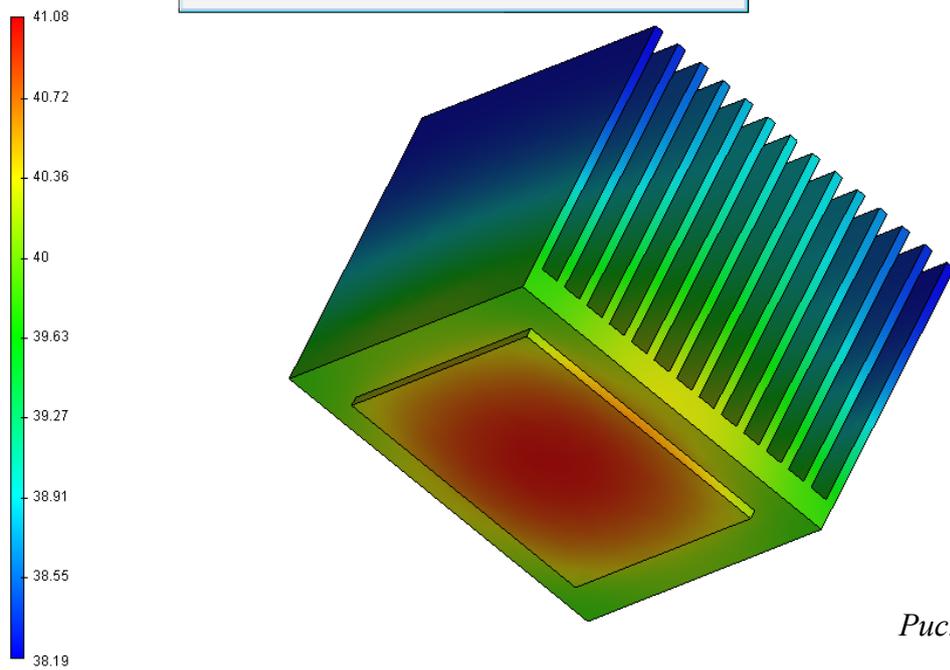


Рис.4.7

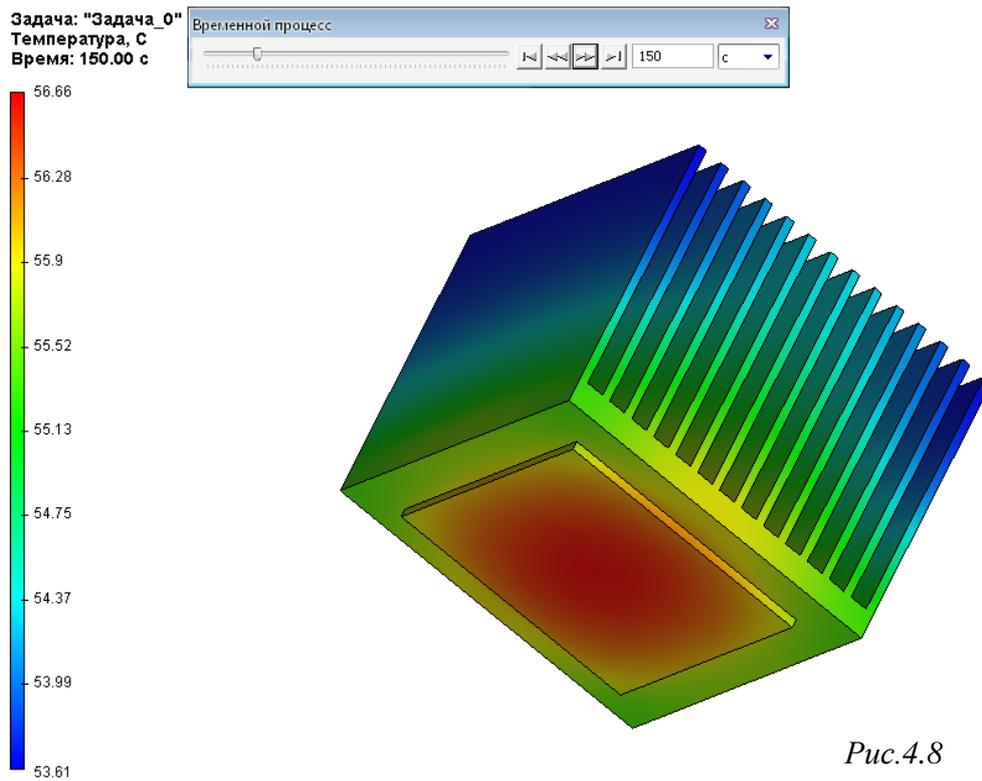


Рис.4.8

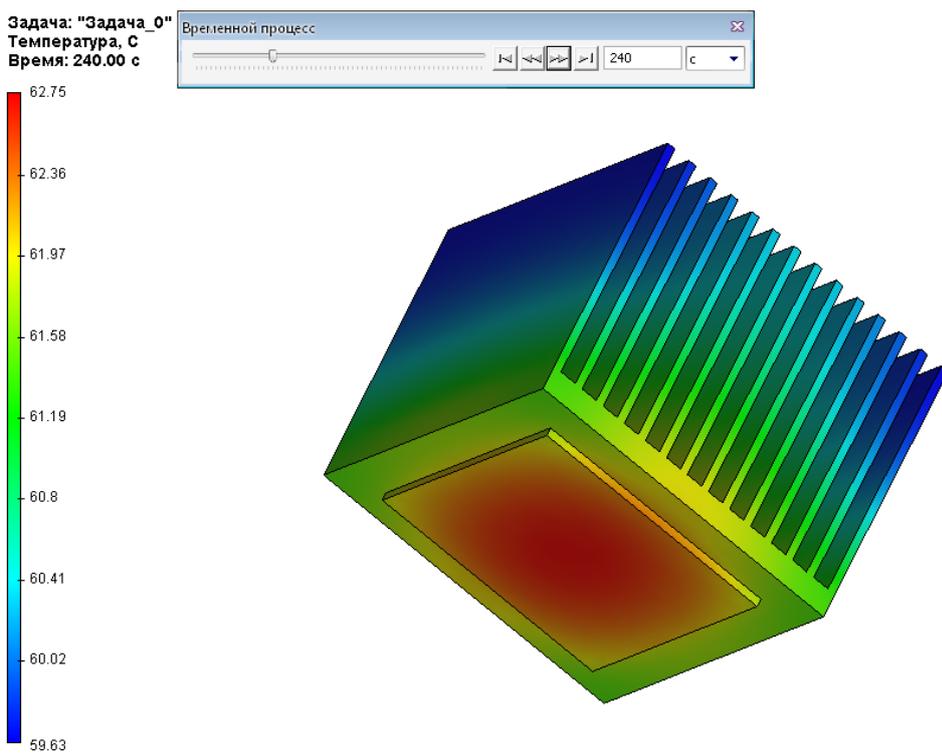


Рис.4.9

По истечении 330 секунд корпус микросхемы прогреется приблизительно до 65 градусов. Далее температура нарастает очень медленно.

Занесите данные в таблицу (таблица 4.2) и по результатам постройте графики нагрева корпуса микросхемы во времени. Сделайте соответствующие выводы.

Таблица 4.2

Материал радиатора	Температура, °C	Время, сек.											
		15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	...	360
медь													
алюминий													
никель													
латунь													
сталь													

Лабораторная работа №5

Расчёт собственных частот и форм колебаний конструкции

Цель работы: научиться рассчитывать резонансные частоты колебаний конструкции.

Задача: Средствами T-flex «Анализ» определить собственные (резонансные частоты) конструкции. Сделать соответствующие выводы.

Порядок выполнения:

1. Подготовить в программе КОМПАС 3D конструкцию изделия (рис.5.1).

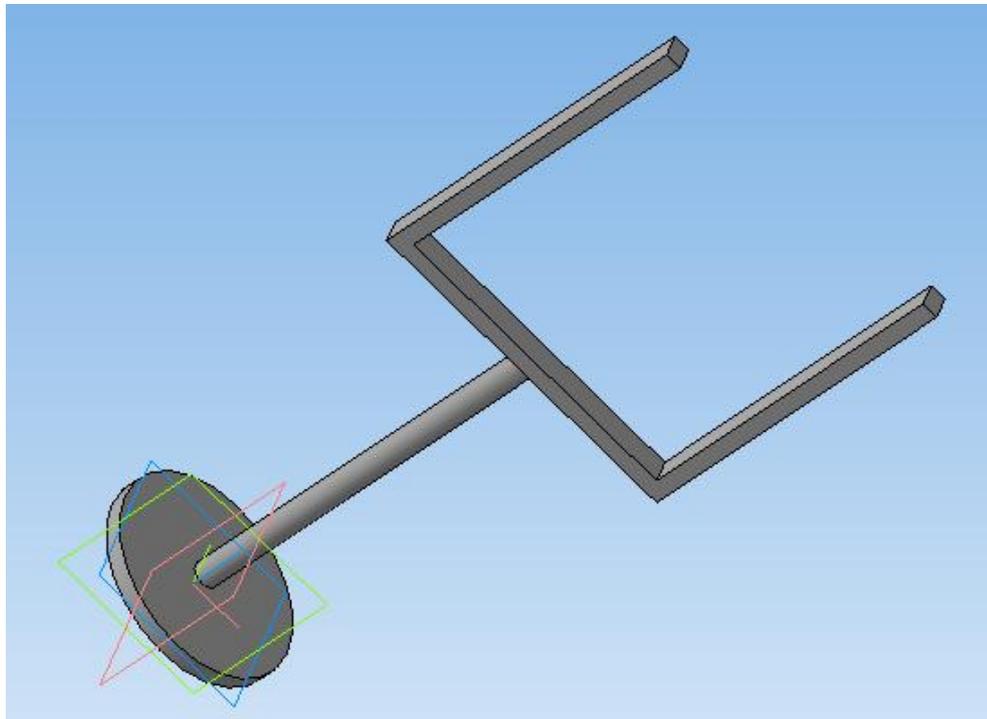


Рис.5.1

2. Экспортировать модель в программу T-flexCad. Методика экспорта описана в ЛР №1.

3. В закладке <Анализ> выбираем <Новая задача> <Конечно-элементный анализ> и в окне <Новая задача> <Частотный анализ>.

Нажимаем .

Модуль частотный анализ предназначен для расчета (резонансных) частот конструкций и соответствующих им форм колебаний. В

условиях эксплуатации конструкции высока вероятность возникновения явления резонанса, когда на определённых частотах внешних воздействий происходит значительное увеличение амплитуд вынужденных колебаний (в десятки и более раз). Это может привести к разрушению конструкции. С помощью данного модуля возможно оценить спектральные свойства конструкции (определить её резонансные частоты, а также соответствующие им формы колебаний) и оптимизировать конструкцию таким образом, чтобы соблюсти условие частотной виброустойчивости. Например, придать конструкции больше жёсткости, уменьшить её массу и т.д.

4. Генерируем конечно-элементную сетку, изменив её относительный размер на 0.02.

5. Выбираем материал. В нашем случае это материал сталь AISI 1020.

6. В задачах частотного анализа роль граничных условий выполняют только закрепления. Выбираем <Полное закрепление> по грани основания.

7. Выбираем команду <Анализ> <Расчёт>. Окно *Параметры задачи (частотный анализ)* выглядит следующим образом (рис.5.2).

В поле *Количество собственных частот* можно указать те нижние собственные частоты конструкции, которые подлежат определению.

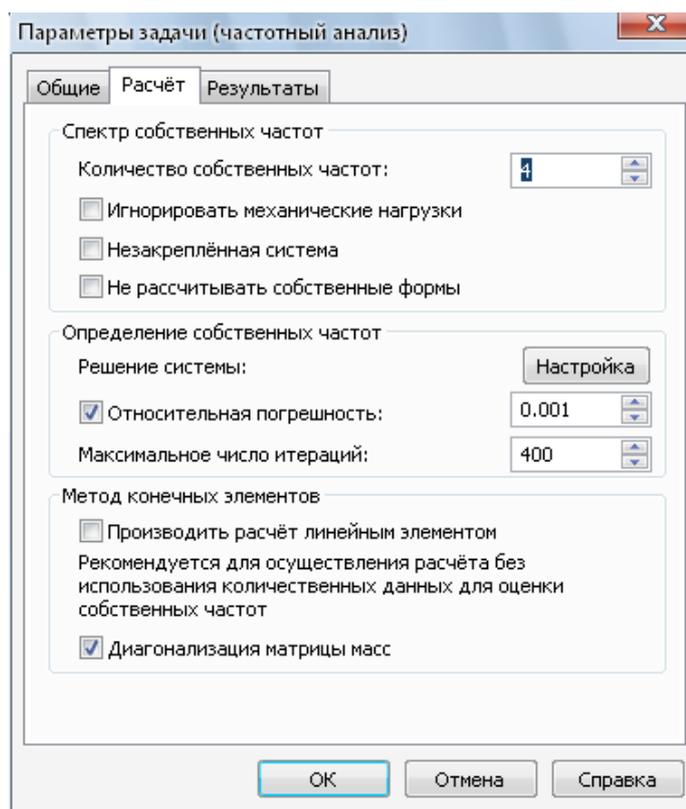


Рис.5.2

Флажок *Незакреплённая система* устанавливается в том случае, если закреплений приложенных к модели недостаточно, чтобы исключить её свободное перемещение в пространстве.

Нажимаем ОК. В результате расчёта мы получили 4 формы колебаний и соответствующие им резонансные частоты (рис.5.3).

Отобразив параметры окна *Результаты расчётов* двойным кликом в области окна визуализации результатов и установив флажки *Цветовая раскраска* и *Фоновая анимация* можно увидеть презентабельную анимацию, которая более наглядно отображает характер движения конструкции на определённой частоте.

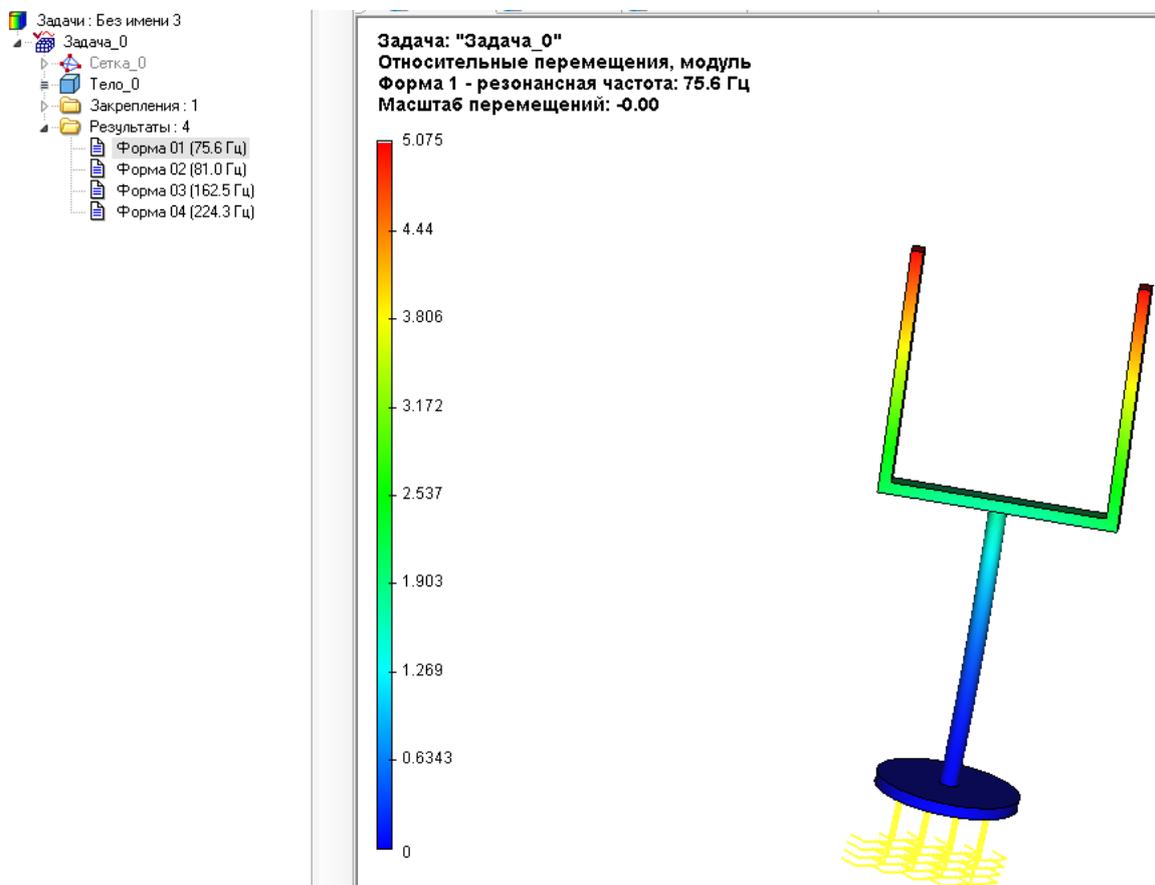
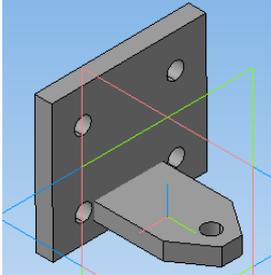
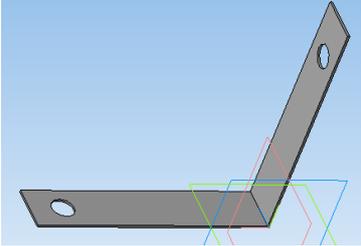
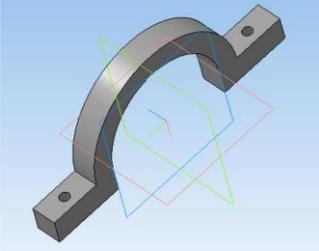
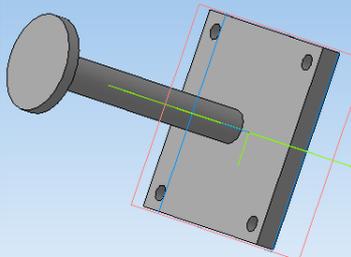
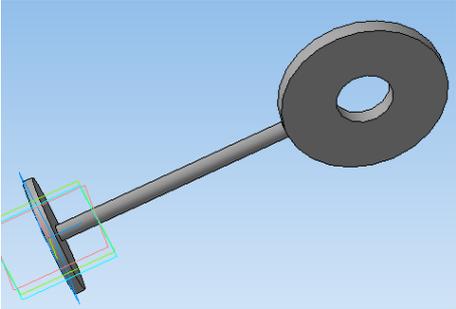


Рис.5.3

Приложение 1.

№	Деталь	Материал	Нагрузка Давление, Н/м ²
1.		Никель	300
2.		Сталь	200
3.		Алюминий	100
4.		Титан	600
5.		Латунь	400

* Размеры деталей берём произвольно (по согласованию с преподавателем)

Приложение 2.

№ варианта	Размеры стержня			материал	Нагрузка, Н	D, мм
	R	h	L			
1	20	2	100	Сталь	50000	10
2	30	2	200	Алюминий	50000	15
3	40	3	300	Латунь	50000	20
4	50	3	400	Титан	50000	25
5	60	4	500	Бронза	50000	30
6	70	4	600	Никель	50000	35
7	80	4	700	Сталь	50000	40
8	90	4	800	Алюминий	50000	45
9	100	5	900	Латунь	50000	50
10	110	5	1000	Титан	50000	55
11	120	5	1200	Бронза	50000	60
12	130	5	1300	Никель	50000	65

Приложение 3.

AMD Athlon (PGA package, Model 4)

Максимальная температура ядра 90 °С

№	Athlon model	Типично (W)	Максимум (W)
1	650 MHz	34	38
2	700 MHz	36	40
3	750 MHz	38	43
4	800 MHz	40	45
5	850 MHz	42	47
6	900 MHz	44	50
7	950 MHz	47	52
8	1000 MHz	49	54
9	1100 MHz *	54	60
10	1133 MHz *	56	63

*Максимальная температура ядра 95 °С

Список литературы

1. T-Flex Анализ. Пособие по работе с системой. АО «Топ системы», Москва 2009, – 161С.
2. Сопротивление материалов. Учебное пособие. Часть 1. Скопинский В.Н. МГИУ, 1999 г. pdf.
3. <http://www.tflex.ru/>