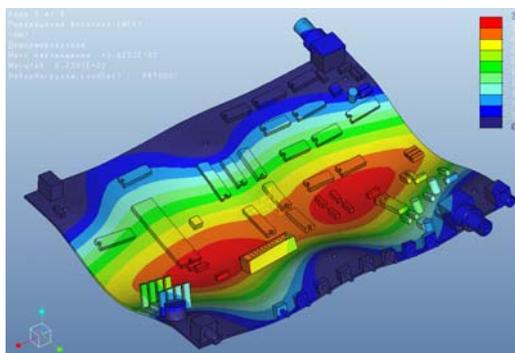


ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный
технический университет»

Кафедра конструирования и производства радиоаппаратуры

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторным работам №3, 4
по дисциплине «Современные РЭС специального назначения:
особенности проектирования и эксплуатации» по направлению
11.04.03 «Конструирование и технология электронных
средств» (программа магистерской подготовки «Автоматизи-
рованное проектирование и технология радиоэлектронных
средств специального назначения») очной формы обучения



Воронеж 2015

Составители: канд. техн. наук А.В. Турецкий,
канд. техн. наук Н.В. Ципина,
канд. техн. наук В.А. Шуваев
УДК 621.3.049.7.002 (075)

Методические указания к лабораторным работам №3, 4 по дисциплине «Современные РЭС специального назначения: особенности проектирования и эксплуатации» по направлению 11.04.03 «Конструирование и технология электронных средств» (программа магистерской подготовки «Автоматизированное проектирование и технология радиоэлектронных средств специального назначения») очной формы обучения / ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»; сост., А.В. Турецкий, Н.В. Ципина, В.А. Шуваев. Воронеж, 2015. 21 с.

Методические указания предназначены для проведения лабораторных работ по курсу «Современные РЭС специального назначения: особенности проектирования и эксплуатации». Методические указания предназначены для магистров техники и технологии по направлению 11.04.03 «Конструирование и технология электронных средств».

Методические указания подготовлены в электронном виде в текстовом редакторе MS Word 2003 и содержатся в файле LR34 SRSN.doc.

Ил. 17. Библиогр.: 6 назв.

Рецензент канд техн. наук, доц. А.В. Башкиров
Ответственный за выпуск зав. кафедрой д-р техн. наук,
проф. А.В. Муратов

Издается по решению редакционно–издательского совета
Воронежского государственного технического университета

© ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный
технический университет», 2015

Лабораторная работа №3 ВЫПОЛНЕНИЕ СТАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА В PRO/ENGINEER MECHANICA

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

1.1. Цель работы

Научиться выполнять статический анализ, один из основных видов анализов в модуле Pro/ENGINEER Mechanica.

1.2. Содержание работы

Pro/ENGINEER Mechanica это составная часть CAE инструмента дающая возможность для проведения анализа механических и тепловых характеристик физической модели с использованием виртуальных 3D-моделей, позволяет определить критические значения параметров модели при различных воздействиях и на основе полученных результатов анализа изменить проект. В работе предполагается выполнить следующее:

- 1) изучить возможности системы Pro/ENGINEER по инженерному анализу 3D моделей простой формы;
 - 2) уяснить методику задания ограничений 3D моделей;
 - 3) изучить возможности модуля Pro/ENGINEER Mechanica по статическому анализу;
 - 4) проработать вопросы отображения результатов в Pro/ENGINEER Mechanica;
 - 5) составить отчет о выполненной лабораторной работе.
- При выполнении лабораторной работы техника безопасности должна соблюдаться при работе с компьютером.

2. ДОМАШНИЕ ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

2.1. Задание № 1

Изучить назначение, возможности, модуля Pro/ENGINEER Mechanical по статическому анализу.

Для выполнения домашнего задания следует проработать содержание настоящего раздела.

Pro/ENGINEER Mechanical предлагает следующие виды анализа- для **MECHANICA Structure**:

- Static (статический) - напряжения и смещения {включает нелинейные большие деформации и нелинейный контакт);

- Modal (модальный) - частоты и формы;

- Prestress Static (предварительно напряженный статический);

- Prestress Modal (предварительно напряженный модальный);

- Buckling (устойчивость) - статическая устойчивость;

- Dynamic Time (динамика временных характеристик) - зависящие от времени нагрузки;

- Dynamic Frequency (динамика частотных характеристик) - зависящие от частоты нагрузки;

- Dynamic Random (динамика случайных процессов) - ввод статистической нагрузки; спектральная плотность мощности;

- Dynamic Shock (динамика ударных воздействий) - возмущение основания;

- Fatigue (усталость) - разрушение материала при циклическом нагружении (требует дополнительной лицензии).

Для **MECHANICA Thermal**:

- Steady State Thermal (установившееся тепловое состояние);

- Transient Thermal (переходной тепловой процесс);

Сходимость.

Одна из особенностей, делающая **MECHANICA** отличной от других программ МКЭ, - то, что **MECHANICA** включает встроенную процедуру сходимости.

МЕCHANICA использует полиномы высокого порядка для функций формы элемента, в то время как другие программы МКЭ вообще используют линейные или интерполированные функции формы. Более высокие порядки полиномов позволяют формам элемента отображать истинное искривление точнее, чем поточечная аппроксимация.

МЕCHANICA корректирует порядок полинома от низкого до высокого, чтобы создать эффективное распределение степеней свободы. Обычная процедура сходимости, именуемая многопроходной адаптацией (МРА), остановится, когда для критерия будет достигнут определенный пользователем процент.

Со встроенной процедурой сходимости **МЕCHANICA** может предложить лучшее распределение степеней свободы для данного набора геометрии и условий нагружения, чем обычная программа автоматической генерации сеток с линейными или интерполированными элементами.

Другие программы МКЭ обычно используют линейные или квадратичные элементы и должны повторно строить сетку, чтобы изменять распределение степеней свободы, тогда как **МЕCHANICA** может перераспределять степени свободы корректировкой порядков элемента без переразбивки сетки.

На этом занятии мы дополнительно обсудим тему р - элементов и сходимости. Вы узнаете о различных методах сходимости, предлагаемых в **МЕCHANICA**, и как их установить.

Наиболее часто выполняемые типы анализов - это статический и модальный.

Статический анализ это тот, который выполняется, когда ищутся напряжения, перемещения и силы реакции.

Модальный анализ дает собственные частоты и формы колебаний модели. Модальный анализ не позволяет применять нагрузку.

Имеется возможность вывести напряжения и перемещения из модального анализа, но их величины носят только качественный характер. Практическое использование модаль-

ных напряжений состоит в том, чтобы определить, где разместить датчики напряжений, или предсказывать местоположения разрушений на деталях, которые могут войти в резонанс.

Анимация формы колебаний показывает относительные смещения, а не абсолютные. Она дает представление о том, как модель изгибается и скручивается при некоторых частотах.

Все анализы имеют имя и описание. Пользователю требуется ввести имя, которое может содержать не больше тридцати одного символа и должно начинаться с буквы. Разрешаются только алфавитно-цифровые символы и символы подчеркивания. Имя **static** сохранено для предопределенного анализа в Motion и не может использоваться.

Если анализ не скрыт в исследовании конструкции (Design Study), то имя анализа станет именем папки, где будут записаны результаты. Обратите внимание, что **описание (Description)** не является обязательным.

Статический (Static)

Необходимо выбрать один набор закреплений, и столько наборов нагрузок, сколько необходимо выполнить. Не обязательно требуется выбирать какие-либо наборы нагрузок, так как можно загрузить модель закреплениями типа предписанных смещений, которые вызывают конкретные перемещения детали

Соглашения для **имени, описания и наборов** закреплений и нагрузок подобны для всех других типов анализа.

Статический анализ - выходные данные.

У пользователя имеется выбор вычисления трех типов выходных данных в статическом анализе. «Напряжения (Stresses)

- повороты (Rotations);

- реакции (Reactions).

Все три типа данных выбраны по умолчанию.

Plotting Grid (Сетка построения графиков) представляет плотность получаемых выходных данных. Указанное значение (**2-10**) определяет число интервалов вдоль каждого реб-

ра элемента и поперек каждой грани элемента, которое использует **МЕCHANICA**, чтобы создать данные результатов. **МЕCHANICA** вычисляет значения величин на пересечениях линий сетки на гранях элемента и по всему объему элемента. Более высокое значение для сетки графика даст более высокую разрешающую способность данных.

Когда вычерчиваются данные вдоль ребер, точки данных на графике представляют точки сетки построения графиков. Определение более высокого числа точек сетки построения графиков незначительно сказывается на времени выполнения, однако увеличивает требуемое пространство на жестком диске.

Если вы ищете только перемещения в результатах, то нет смысла вычислять **напряжения**. Это уменьшит время постпроцессорной обработки и требуемое дисковое пространство.

Повороты доступны только для оболочечных и балочных элементов. Объемные элементы не имеют поворотов. Если модель не содержит оболочечные или балочные элементы, то эти данные не запрашиваются. Это просто кончится дополнительными вычислениями, которые запишут ноли в файл.

Реакции являются противоположностью прикладываемым нагрузкам. Реакции - это нагрузки, которые возникают в закреплениях модели. **МЕCHANICA** сообщает суммарную реакцию в модели в файле `summary`. Реакции, сообщаемые в итоговом файле, это сумма реакций всех закреплений в модели.

Имеется возможность также определять критерии типа **реакций** в определенных закреплениях, используя диалоговое окно **Measure Definition** (определение Критерия), показанное ниже. **МЕCHANICA** вычисляет критерии **реакции** независимо от того, выбрали ли вы вывод **Reactions** в диалоговом окне анализа.

2.2. Контрольные вопросы к домашнему заданию

1. Какова функциональность Pro/ENGINEER Mechanical по выполнению статического анализа?

2. Каковы возможности постпроцессора в Pro/ENGINEER Mechanical?

3. Чем различаются статический вид анализа и динамический?

4. Что называют чувствительностью конструкции к изменению параметров проектирования?

3. ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

3.1. Методика проведения работы

Упражнение 1: Выполнение статического анализа

Необходимо разработать проект детали, приведенной на рис. 1, представляющей собой пластину размером 400*250 мм.

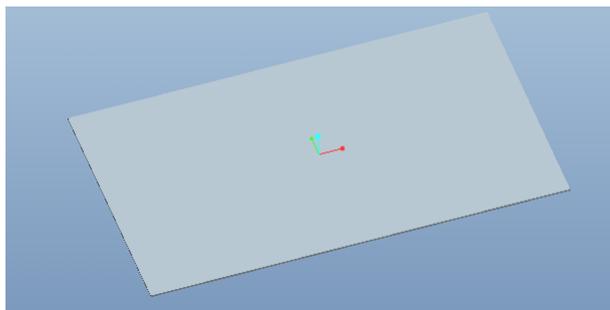


Рис. 1. Внешний вид детали

Для реализации этого задания необходимо выполнить следующее.

Затем надо войти в режим приложения «Механика» (рис. 2).

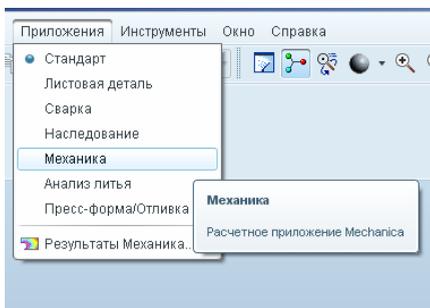


Рис. 2. Приложение «механика»

Торцевую поверхность пластины надо жестко зажать по всем степеням свободы, а на противоположную кромку перпендикулярно пластине подается нагрузка величиной 10 Н. (рис. 3). Пластине также назначается материал из предложенных.

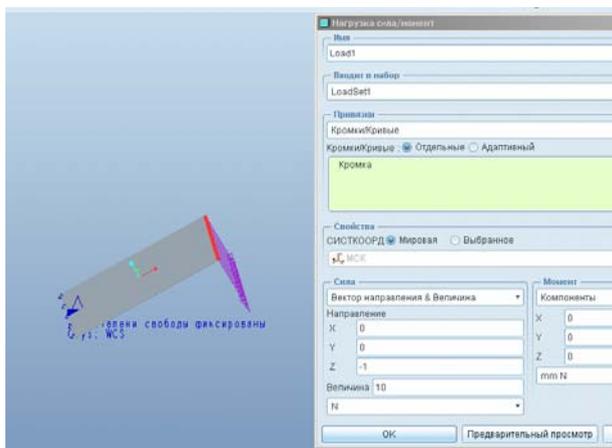


Рис. 3. Задание нагрузки на пластину

Упражнение 2. Создание статического анализа.

Для запуска статического анализа в меню «анализ» выбирается пункт «Анализы/Проработки Механики» (рис. 4).

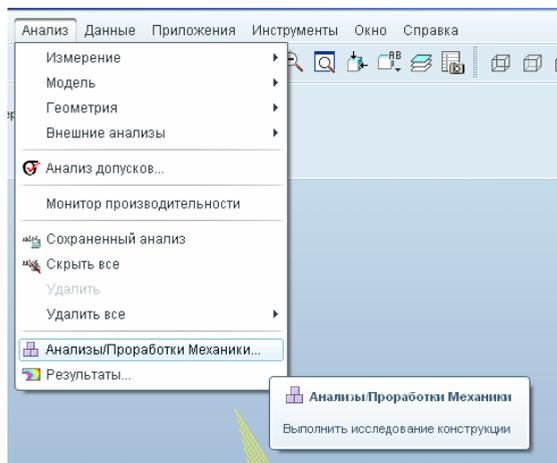


Рис. 4. Меню «Анализы/Проработки Механики»

В открывшемся окне выбрать «Новый Статический» (рис. 5).

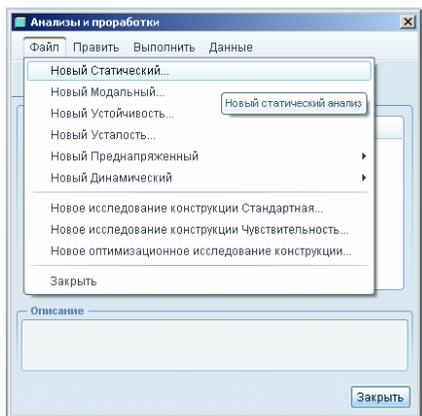


Рис. 5. Меню «Новый Статический» анализ

В открывшемся окне задаются опции анализа и после нажатия кнопки «ОК» процесс возвращается к предыдущему окну. Запускается анализ кнопкой . При этом возможно отображение всего процесса в отдельном окне, которое вызывается кнопкой . В зависимости от сложности модели процесс анализа может занять некоторое время. В случае возникновения каких либо ошибок, эта информация также отображается во всплывающем окне. Статус процесса указан справа от названия анализа. Если процесс завершен успешно, то должно появиться соответствующее сообщение (рис.6).

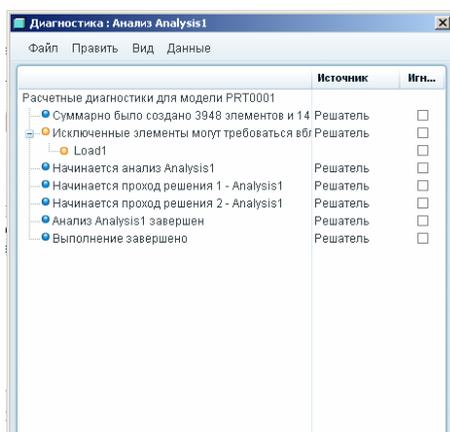


Рис. 6. Диагностическое окно анализа

Упражнение 3. Отображение результатов анализа.

Результаты анализов отображаются с помощью кнопки . При нажатии на нее появляется окно, в котором задаются опции отображения результата (рис. 7). Результаты анализа могут быть представлены в виде цветowych полей, векторов, графика или модели (точек с наибольшей интенсивностью). В

статическом анализе доступно отображение напряжений, перемещений и др.

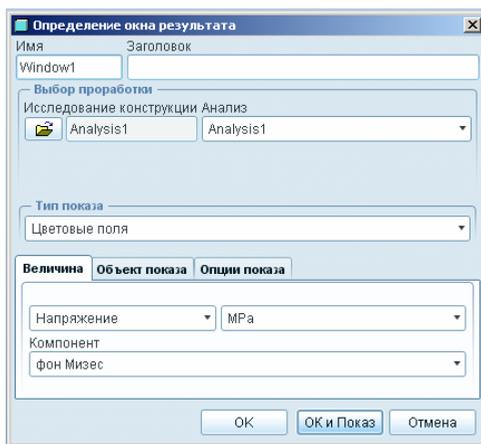


Рис. 7. Диагностическое окно анализа

На вкладке «Опции показа» (рис. 7) задается анимация отображения модели.

На рис. 8-10 представлены результаты статического анализа с отображением напряжения (рис. 8), перемещения (рис. 9) и анимированного изображения пластины (рис. 10).

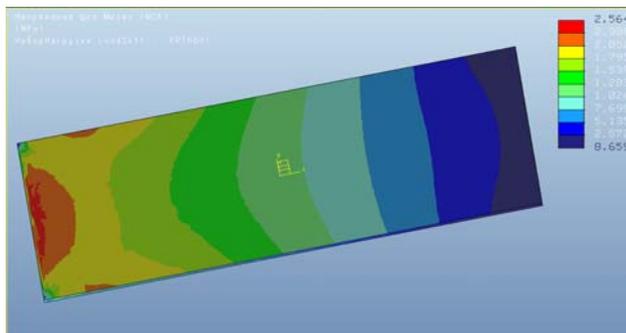


Рис. 8. Отображение механических напряжений

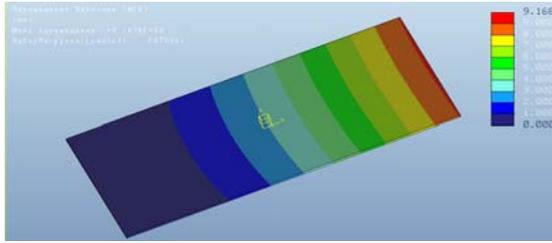


Рис. 9. Отображение перемещений

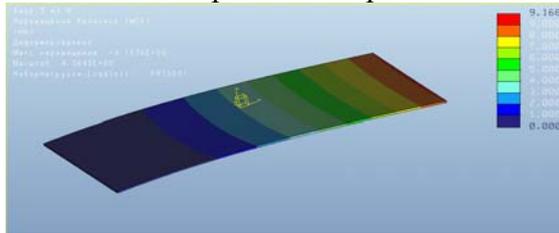


Рис. 10. Анимированное отображение статического анализа

При отображении результатов в виде графика по оси ординат выбирается отображаемый параметр (напряжение, перемещение и т. д.), а по оси абсцисс координата модели, которая задается в специальном окне (рис. 11). В результате получается следующий график (рис. 12).

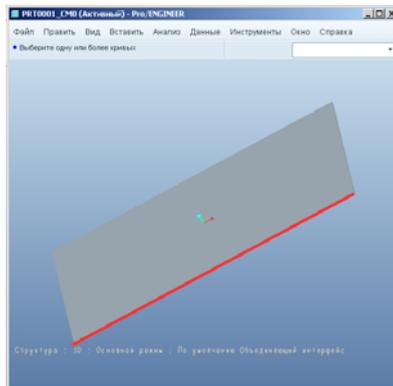


Рис. 11. Окно задания координаты оси абсцисс графика

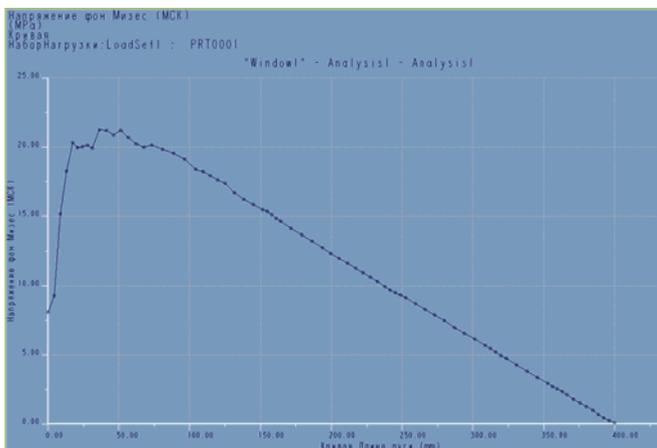


Рис. 12. График напряжений пластины

3.2. Контрольные вопросы.

1. Каковы основные операции выполнения статического режима?
2. Какие виды закреплений можно реализовать в Pro/ENGINEER Mechanical?
3. Каким образом происходит построение графиков?
4. Что называют напряжением Фон Мизес?

Лабораторная работа № 4

ВЫПОЛНЕНИЕ МОДАЛЬНОГО АНАЛИЗА В PRO/ENGINEER MECHANICA

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

1.1. Цель работы

Научиться выполнять модальный анализ, один из основных видов анализов в модуле Pro/ENGINEER Mechanica.

1.2. Содержание работы

В работе предполагается выполнить следующее:

- 1) изучить возможности системы Pro/ENGINEER по инженерному анализу 3D моделей простой формы;
- 2) уяснить методику задания ограничений 3D моделей;
- 3) изучить возможности модуля Pro/ENGINEER Mechanica по модальному анализу;
- 4) проработать вопросы отображения результатов в Pro/ENGINEER Mechanica;
- 5) составить отчет о выполненной лабораторной работе.

При выполнении лабораторной работы техника безопасности должна соблюдаться при работе с компьютером.

2. ДОМАШНИЕ ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

Модальный анализ используется, чтобы вычислить собственные частоты модели. **MECHANICA** определит, при каких частотах модель будет резонировать. Нагрузки не включены в модальный анализ.

Нельзя использовать симметрию для модальных анализов. Необходимо анализировать модель целиком, чтобы получить правильные формы колебаний.

Обычно анализ включает закрепления, однако **"незакрепленный"** анализ удобен в качестве отладочного, потому что не обязательно должны иметься нагрузки или закрепления в модели. Это особенно полезно, при построении балочных и оболочечных моделей, где у могут быть проблемы обеспечения связности.

Обычно не запрашивается **поиск жестких мод {Rigid Mode Search}**, потому что они включают только перемещения твердого тела (поступательные перемещения и повороты, но не скручивание и изгиб). Однако **Rigid Mode Search** автоматически включен для **"незакрепленных"** модальных анализов.

Имеется возможность запросить определенное число мод (собственных частот) или все моды в указанном диапазоне частот.

Каждый твердотельный объект имеет частоту, при которой он вступает в резонанс. Когда он подвергается этой частоте или за счет колебаний конструкции, на которой установлен, или через волны давления в воздухе, тело будет очень сильно вибрировать. Это может быть разрушительным из-за высокого уровня переменных напряжений.

Частота, на которой объект резонирует, определяется тремя вещами:

- геометрической формой;
- плотностью материала;
- как он закреплен.

Примером того, где был бы необходим модальный анализ, это электродетали, которые установлены вблизи трансформатора переменного тока. Если переменный ток, текущий через трансформатор, имеет частоту 50 Гц, как это существует в России, то деталь должна быть спроектирована так, чтобы ее собственная частота находилась вдали от 60 Гц.

Тот же самый принцип применяется к вращающимся механизмам. Если двигатель вращается, делая 2400 оборотов в минуту, это приводит к колебаниям конструкции с частотой 40 Гц (2400 / 60). Любые детали, которые установлены в кон-

струкции, должны быть спроектированы так, чтобы их собственная частота не находилась вблизи 40 Гц.

Если деталь подвергается колебаниям с частотой, которая равна или находится вблизи ее собственной частоты, то она может резонировать и подвергнуться переменным напряжениям, которые будут выше, чем необходимо. Без выполнения модального анализа спроектированные детали, могут разрушиться из-за усталости.

Обычно необходимо, чтобы деталь была спроектирована так, что собственная частота не возбуждалась. Однако могут быть случаи, когда необходимо сделать совсем противоположное.

Производители виброоборудования, такого как в стоматологической отрасли, могли бы пожелать инструмент, вибрирующий настолько, насколько возможно. Необходимо проектировать детали так, чтобы происходило возбуждение ее собственной частотой, они получили бы максимальную производительность. Процедура оптимизации **MECHANICA** очень полезна для достижения данного типа целей проектирования.

Незакрепленные модальные анализы полезны для свободно плавающих или висящих тел типа самолетов, космических кораблей и ракет.

По-правде говоря, частоты свыше 300 Гц имеют очень небольшое значение для долговечности конструкции, потому что перемещения становятся весьма маленькими. Однако шум может вызвать проблемы вплоть до 2000 Гц.

2.2. Контрольные вопросы к домашнему заданию

1. Каковы возможности Pro/ENGINEER Mechanica по выполнению модального анализа?
2. Какой запас по резонансным частотам является оптимальным?
3. Каковы пути повышения резонансных частот конструкций?

3. ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

3.1. Методика проведения работы

Упражнение 1. Выполнение статического анализа радиоэлектронного модуля.

Необходимо создать или получить у преподавателя 3D модель радиоэлектронного устройства. Пользуясь навыками, полученными в предыдущей работе необходимо задать материал(ы), создать закрепления и нагрузки. Затем необходимы выполнить статический анализ. Для примера представлен результат статического анализа платы на рис. 13.

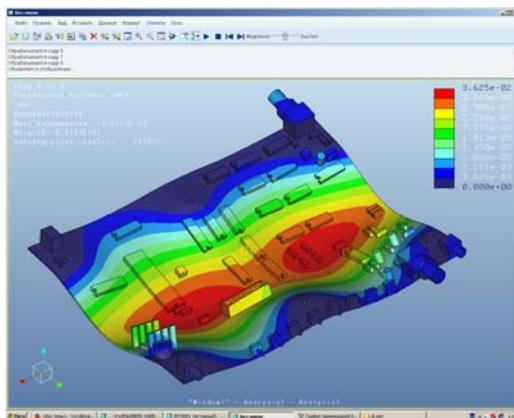


Рис. 13. Пример анимации статического режима

Упражнение 2. Выполнение модального анализа

В меню «Анализ» надо выбрать пункт «Анализы и проработки механики» в открывшемся окне надо выбрать новый модальный анализ (рис. 14). В открывшемся окне выбирается

число форм колебаний (рис. 15). Анализ запускается кнопкой

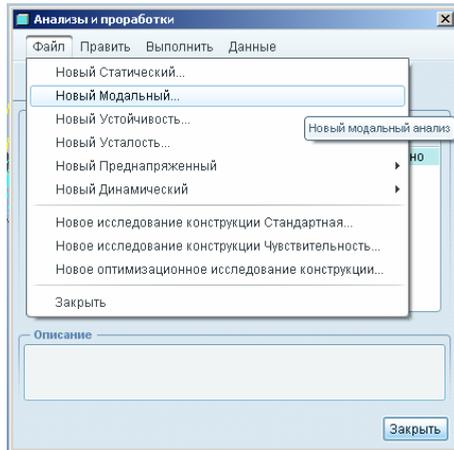


Рис. 14. Выбор модального анализа

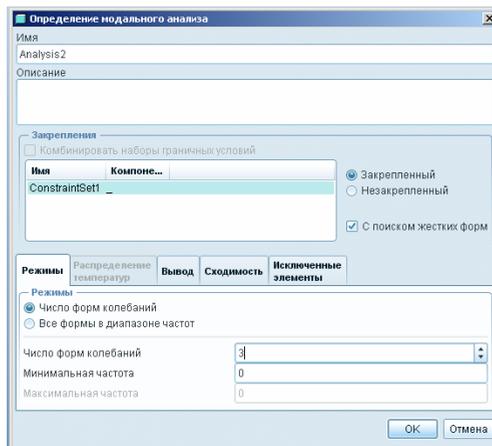


Рис. 15. Выбор числа форм колебаний

Результаты модального анализа отображаются при нажатии на кнопку . В открывшемся окне, также как и при статическом анализе можно задать перемещения, а также выбрать резонансную частоту (рис. 16).

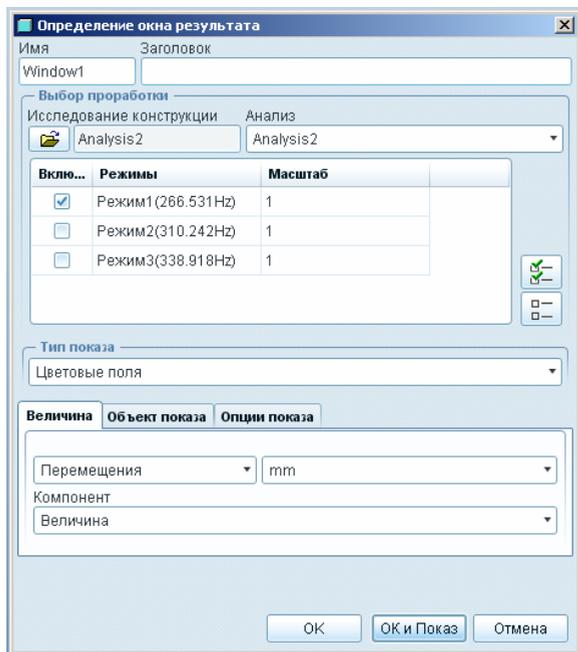


Рис. 16. Выбор резонансных частот

На рис. 17 показан пример отображения результатов модального анализа на резонансной частоте 266 Гц.

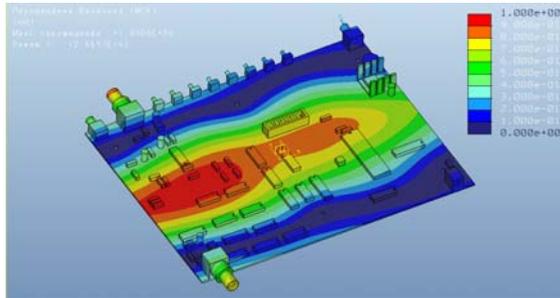


Рис. 17. Перемещения точек платы при резонансной частоте 266 Гц.

3.2 Контрольные вопросы.

1. Каковы основные операции создания модального анализа?
2. Какие пути изменения собственных резонансных частот Pro/ENGINEER Mechanical?
3. Каким образом можно определить количество мод колебаний?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Минеев М. А. Pro/Engineer Wildfire 2.0/3.0/4.0. - М.: Наука и техника, 2008 г. -352 с.
2. Буланов А. Wildfire 3.0. Первые шаги/ А. Буланов М.: Изд-во «Поматур», 2008. 240 с.
3. Грэхам Г. Pro/Engineer 2001 / Г. Грэхам, Д. Стенффен. М.: Изд-во «Лори», 2003. 363 с.
4. Прокди Р.Г Pro/Engineer Wildfire 2.0/3.0/4.0. / Р.Г. Прокди, М.А. Минеев М.: Наука и техника 2008 352 с.
5. Чемоданова Т. В. Pro/ENGINEER: деталь, сборка, чертеж / Т.В. Чемоданова. СПб.: Изд-во «ВНУ» 2003 г. 560 с.
6. Степанов А.В. Pro/ENGINEER. Специальный справочник / А.В. Степанов. СПб.: Изд-во «Питер» 2001 624 с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторным работам №3, 4
по дисциплине «Современные РЭС специального назначения:
особенности проектирования и эксплуатации» по направлению
11.04.03 «Конструирование и технология электронных
средств» (программа магистерской подготовки «Автоматизи-
рованное проектирование и технология радиоэлектронных
средств специального назначения») очной формы обучения

Составители:
Турецкий Андрей Владимирович
Ципина Наталья Викторовна
Шуваев Владимир Андреевич

В авторской редакции

Компьютерный набор А.В. Турецкого

Подписано к изданию 20.11.2015
Уч.-изд. л. 1,3

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный
технический университет»
394026 Воронеж, Московский просп., 14