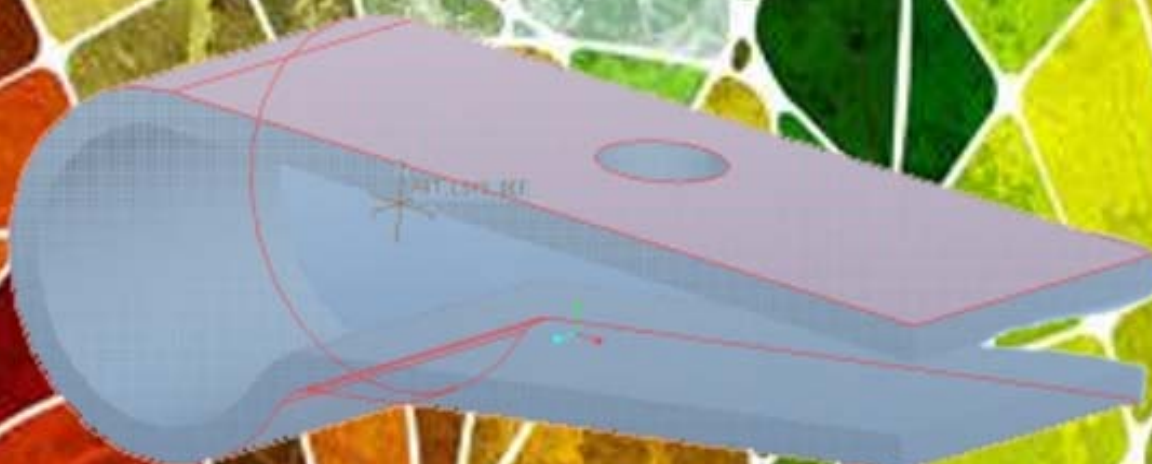


С. Б. ЗАХАРЖЕВСКИЙ, А. Е. КУРНОСЕНКО

**Расчет изделий электроники
на механические и тепловые воздействия
в САПР Creo**





**Министерство образования и науки
Российской Федерации**



**Московский государственный технический
университет им. Н. Э. Баумана**

С. Б. ЗАХАРЖЕВСКИЙ, А. Е. КУРНОСЕНКО

**Расчет изделий электроники на механические и тепловые воздействия
в САПР Creo**

Учебное пособие для студентов по направлению
«Конструирование и технология электронных средств»

Москва, 2013

УДК 621.37/.39:62-50; 681.2:004; 621.396.6-027.31; 621.396:658.512.2
ББК 30.2-5-05
3-38

Захаржевский С. Б., Курносенко А. Е.

Расчет изделий электроники на механические и тепловые воздействия в САПР Creo: учеб. пособие. – М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана. 2013. 56 с. : ил.

Учебное пособие для подготовки студентов по направлению 211000 «Конструирование и технология электронных средств», профили 211001 «Проектирование и технология электронно-вычислительных средств» и 211002 «Проектирование и технология радиоэлектронных средств» содержит методические указания по проведению инженерных расчетов электронных изделий на воздействия линейных ускорений, вибраций, ударов и тепловых нагрузок при помощи модуля Creo/Simulate (Structure and Thermal Simulation) САПР Creo. Отдельно рассмотрен вопрос моделирования биметаллических пластин.

Для студентов, аспирантов и преподавателей высших технических учебных заведений по направлению подготовки «Конструирование и технология электронных средств». Будет полезно всем занимающимся разработкой электронной аппаратуры различного назначения и желающим получить углубленные навыки инженерного анализа в САПР.

Табл. 1. Ил. 62. Библиогр.: 4 назв.

Пособие разработано и издано в соответствии с планом проекта «**TEMPUS PROMENG**» («**PRactice Oriented Master Programmes in ENGINEERING in RU, UA, KZ**») – Международный образовательный проект, направленный на развитие профессионально ориентированных программ подготовки магистров в области инженерии в России, Узбекистане и Украине).

Проект финансируется при поддержке Европейской Комиссии. Содержание данного материала отражает мнение авторов, и Европейская Комиссия не несет ответственности за использование содержащейся в ней информации.

© Захаржевский С. Б., Курносенко А. Е., 2013

Содержание

1. Описание процесса моделирований изделий	4
2. Создание расчетной модели	5
2.1. Оптимизация сборочного состава.....	5
2.2. Упрощение геометрии.....	8
2.3. Задание материалов	11
2.4. Идеализация взаимосвязей	14
2.5. Задание граничных условий	17
2.6. Обозначение масс изделий	18
3. Проведение статического анализа	20
4. Проведение модального анализа.....	24
5. Расчет на воздействие ударного импульса.....	27
6. Расчет на воздействие гармонических вибраций	34
7. Расчет на воздействие случайных вибраций	38
8. Тепловой анализ	41
9. Использование результатов теплового анализа для расчета температурных деформаций	44
10. Моделирование биметаллических пластин.....	45
11. Список литературы	51

Перечень сокращений

ПК	Персональный компьютер
КД	Конструкторская документация
САПР	Система автоматизированного проектирования
2D	Двухмерная геометрия
3D	Трехмерная геометрия
CAD	Computer-Aided Design (Система автоматизированного проектирования)
PDM	Product Data Management (Система управления данными об изделии)
Фичер	Конструктивный элемент построения модели
МСК	Мировая система координат

Аннотация

Данное методическое пособие описывает алгоритм проведения всестороннего анализа изделия на воздействие линейных ускорений, вибраций, ударных воздействий и тепловых нагрузок при помощи модуля Creo/Simulate (Structure and Thermal Simulation).

Пособие не является заменой базовых учебников «Основы работы в Creo 2.0» и «Основы прочности и теплового анализа в Creo/Simulate». Обучаемые должны пройти базовую подготовку по Creo/Parametric и Creo/Simulate.

В качестве примера в пособии приведен расчет одного из изделий радиоэлектронной техники.

1. Описание процесса моделирований изделий

Моделирование изделий – процесс, требующий от пользователя понимания содержания расчета и цели исследований. Ведущая роль в проведении расчета отведена пользователю. Creo/Simulate – универсальный инструмент прочностного и теплового расчета, предназначенный для решения очень широкого круга задач методом конечных элементов. Универсальные инструменты всегда требуют большей подготовки пользователя, нежели специальные, предназначенные для решения какого-либо определенного класса задач. В связи с этим на начальных этапах использования Creo/Simulate пользователями, не имеющими опыта компьютерного или ручного моделирования, рекомендуется консультации с опытными инженерами.

Целью любого моделирования является получение расчетных данных, дающих представление о работоспособности изделия. На каждом этапе анализа эти данные являются специфическими. Более подробно это рассматривается в соответствующих разделах.

Процесс моделирования состоит из следующих этапов:

- упрощение изделия и создание расчетной модели,
- задание граничных условий,
- постановка задачи,
- решение,
- проведение анализа рассчитанных данных на этапе постпроцессинга,
- принятие решения о внесении изменений в конструкцию или выработка рекомендаций по проектированию.

Для каждого из видов анализа (статический, вибрационный и т.д.) процесс повторяется за исключением первых двух этапов.

Выполняя работу, следует периодически сохранять проект!

2. Создание расчетной модели

2.1. Оптимизация сборочного состава

Оптимизация сборочного состава проводится с целью исключения незначимых, стандартных компонентов, унифицированных и заимствованных узлов, иных компонентов, структура которых доподлинно не известна или эксплуатационные характеристики которых указаны в соответствующих сопроводительных документах.

Работая в рамках системы PDM, следует помнить, что прямое редактирование конструкторской модели нежелательно, т.к. это может повлиять на сборочный состав изделия, формируемый PDM, а также на остальные части проекта, находящиеся в параметрической зависимости (чертежи, технологические модули и т.д.). Поэтому рекомендуется использовать упрощенные представления, таблицы семейств, скелетоны с мастер-геометрией, подмену реального компонента его упрощенной геометрией.

Процедура оптимизации сборочного состава выглядит следующим образом:

Возьмем конструкторскую модель изделия (см. рис. 1, 2):

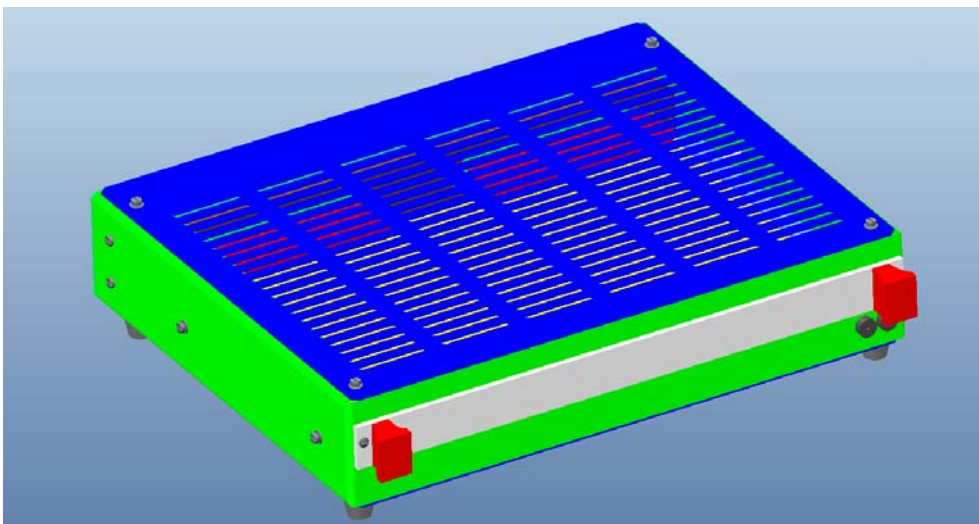


Рисунок 1

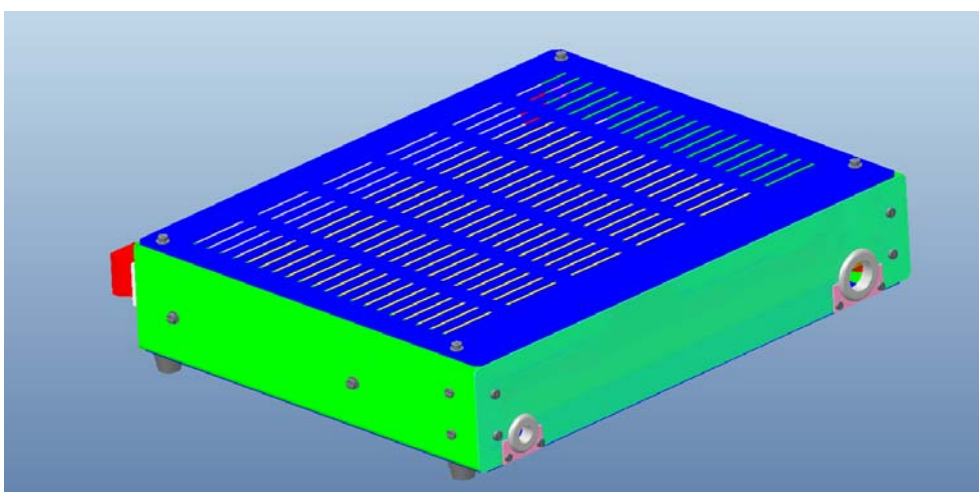


Рисунок 2

Изделие можно разбить на 2 части: функциональную и несущую. К несущей относятся алюминиевые листы, ячейка в сборе без элементов. Остальные элементы являются унифицированными, поэтому их можно исключить.

Для этого создаем упрощенное представление с любым именем (здесь и далее будет использоваться имя «Mech»):

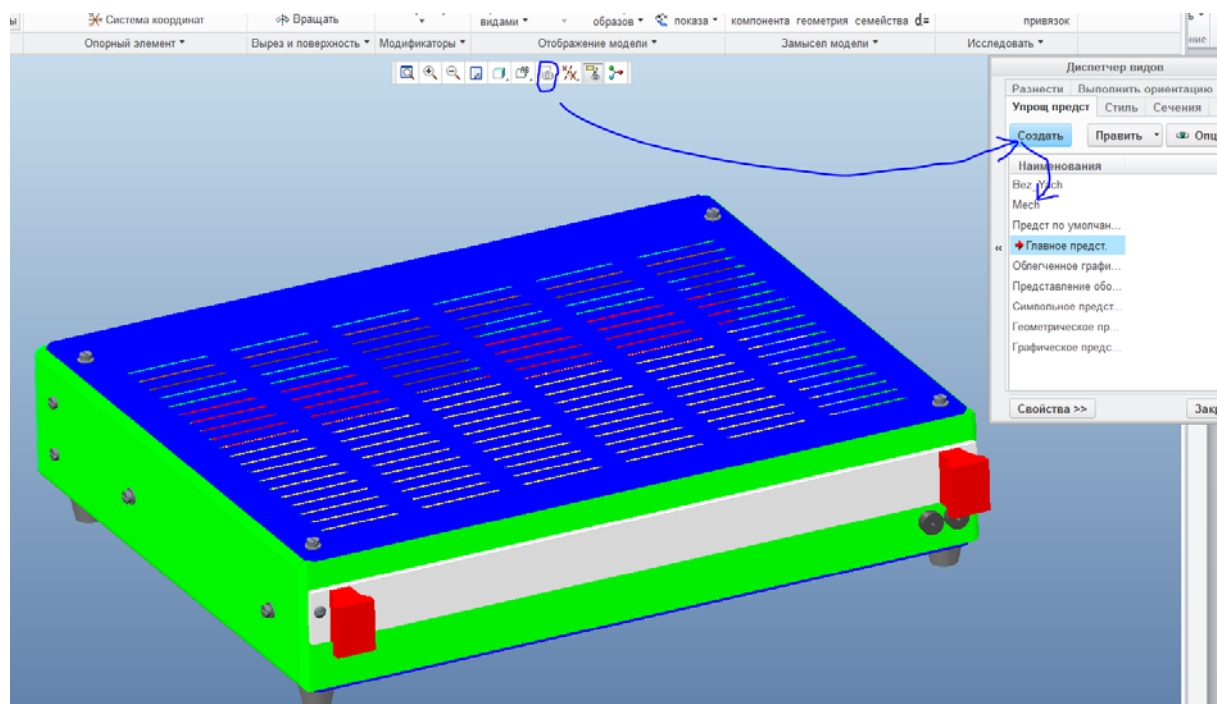


Рисунок 3

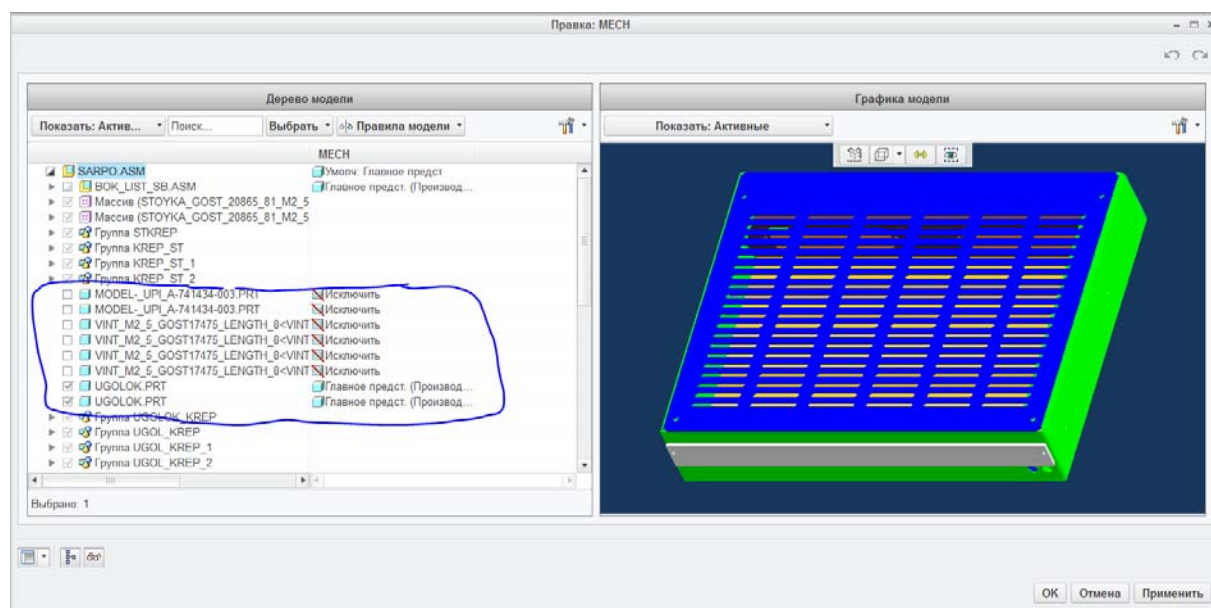


Рисунок 4

На рисунке 4 в появившемся меню у всех исключаемых деталей нужно выставить статус «Исключить» и нажать «ОК». Затем необходимо применить принцип «рекурсии», т.е. открыть последовательно все под сборки, под сборки в под сборках и т.д. и применить ту же процедуру, как показано на рис. 3, 4.

Далее необходимо применить принцип: «Упрощенные сборки состоят из упрощенных компонентов». Для этого нужно сделать «подмену» подборок на их упрощенные представления. Потребуется дополнительная корректировка созданного упрощенного представления «Mech» (рис. 5).

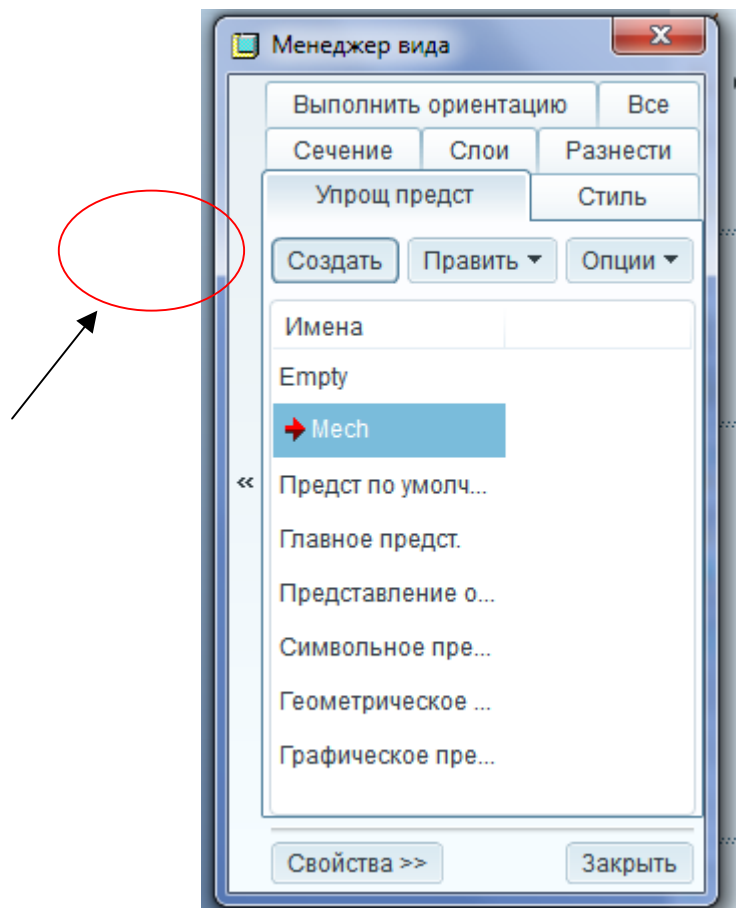


Рисунок 5

Вызываем меню «Править» – «Переопределить».

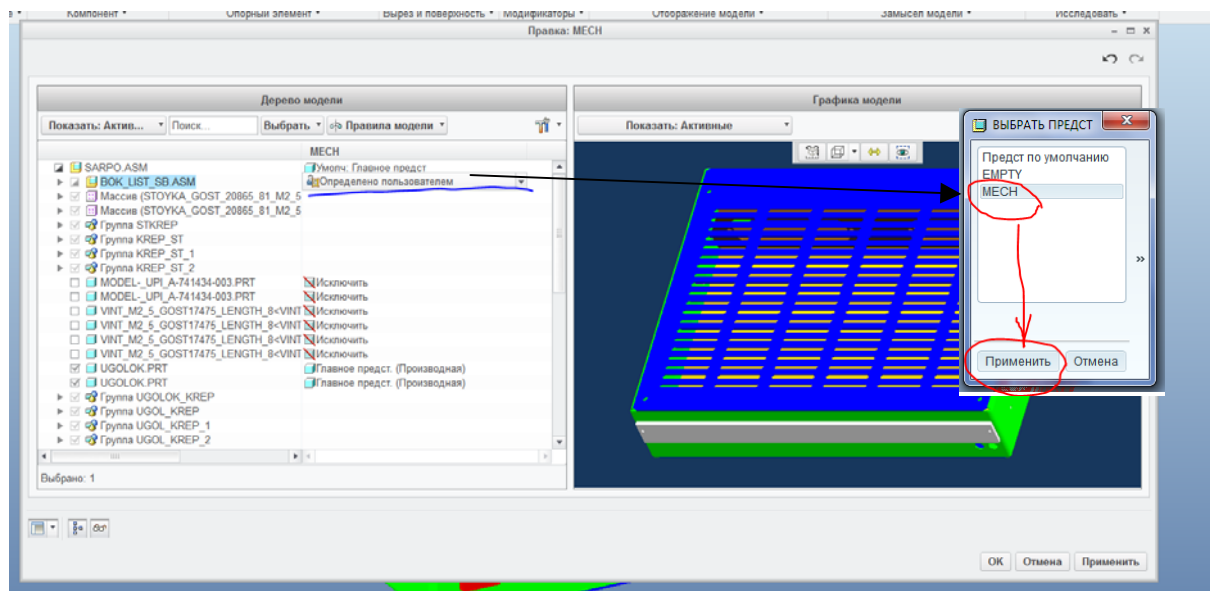


Рисунок 6

Для каждой сборки переключаем статус на «Определено пользователем» – «Mech», как показано на рис. 6. Процедуру следует начинать с самой «вложенной» сборки, а закончить сборкой верхнего уровня, последовательно открывая их и переопределяя упрощенные представления.

2.2. Упрощение геометрии

Упрощение геометрии – процедура, направленная на уменьшение количества объемных элементов сетки без существенной потери адекватности модели. Сеточная модель прибора представлена на рисунке 7:

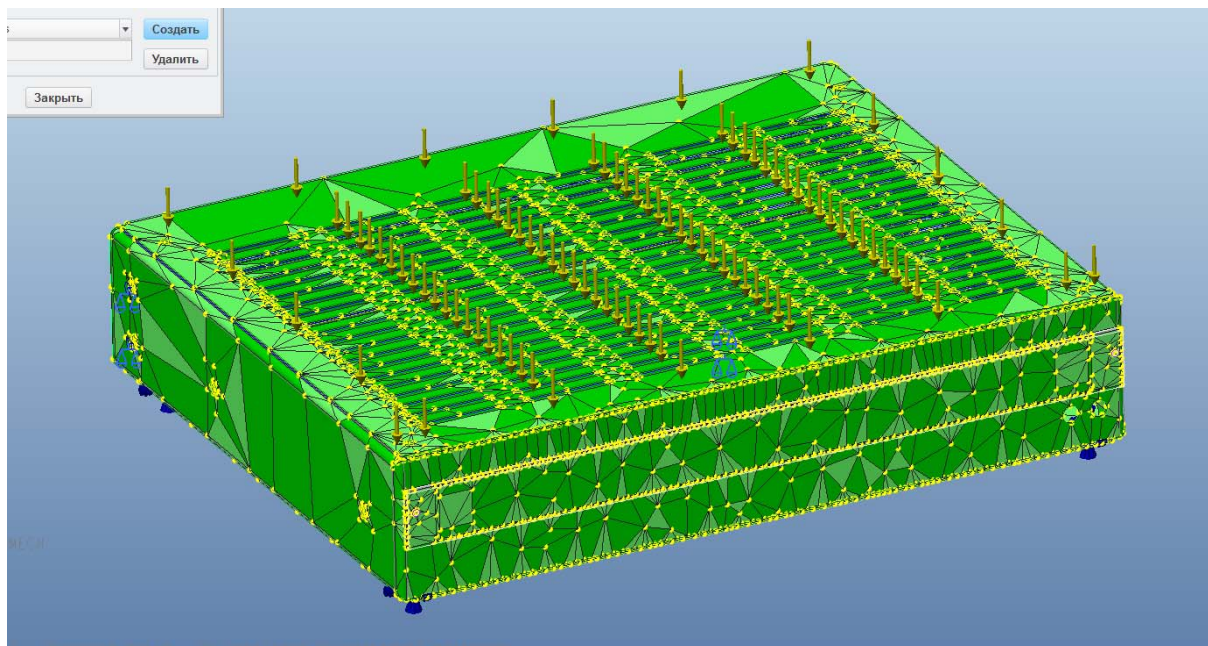


Рисунок 7

Количество элементов сетки еще называют мощностью или размерностью задачи. Размерность задачи не зависит от габаритов модели. Для её снижения необходимо провести экспертную оценку геометрии с целью выявления относительно малых несущественных её элементов. К таким элементам могут относиться фаски кромок, скругления кромок, мелкие отверстия и т.д. Общими словами такие элементы можно охарактеризовать как незначимые относительно мелкие элементы геометрии, располагающиеся в предполагаемых малонагруженных зонах. Выявление таких зон зависит от квалификации пользователя, поэтому рекомендуется проводить экспертную оценку значимости элементов геометрии.

Аналогично сборочным единицам упрощение геометрии детали нельзя проводить за счет непосредственного редактирования конструкторской модели. Поэтому необходимо применять различные варианты по созданию расчетных представлений, такие как упрощенные представления, семейства, наследование геометрии и т.д.

Проведем упрощение вовлеченных в расчет компонентов. Начнем со скобы.

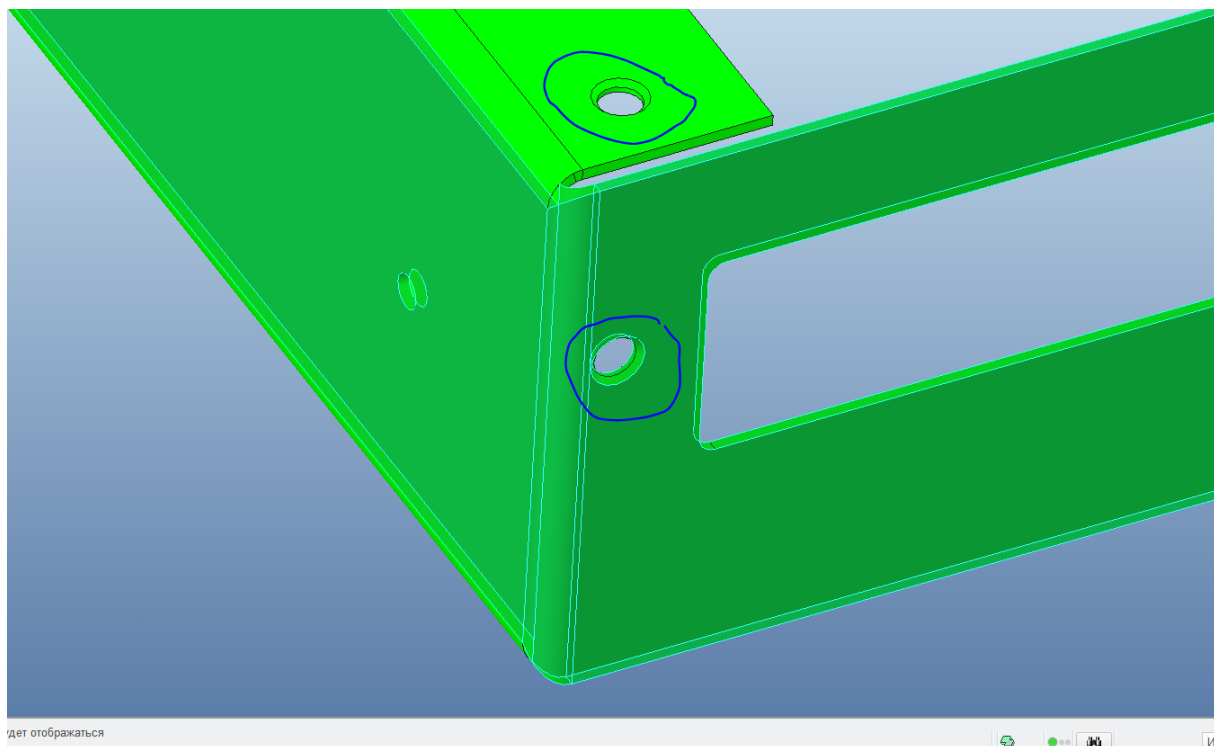


Рисунок 8

На рисунке 8 отмечены зоны, которые, по мнению конструктора, были признаны несущественными для расчета – это фаски на отверстиях под винты с потайной головкой. Эти элементы исключаются из расчета при помощи упрощенного представления МЕСН.

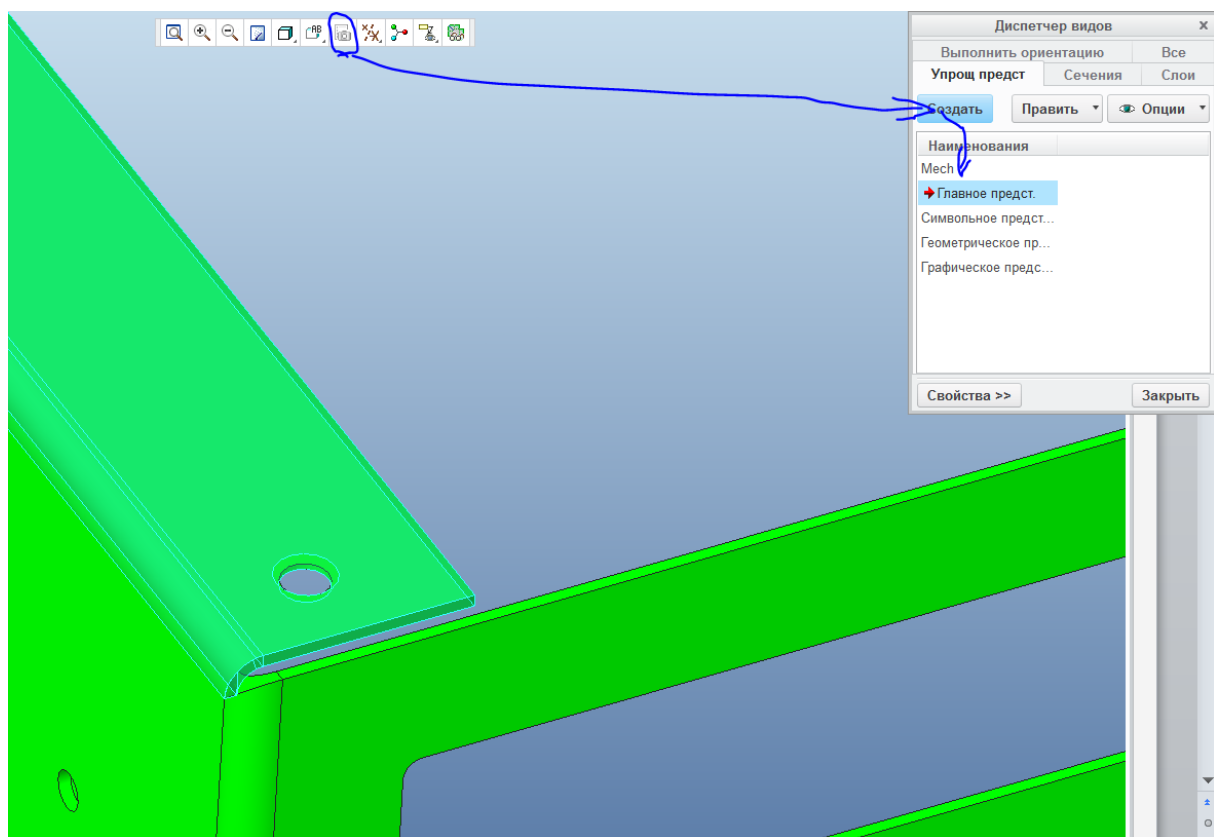


Рисунок 9

Далее из появившегося меню выбираем вариант «Элементы».

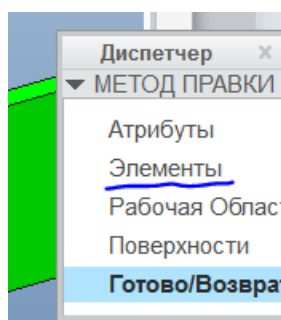


Рисунок 10

Дерево команд разделится на две части. В левой части будет по-прежнему располагаться дерево элементов (фичеров), а в правой – их статус.

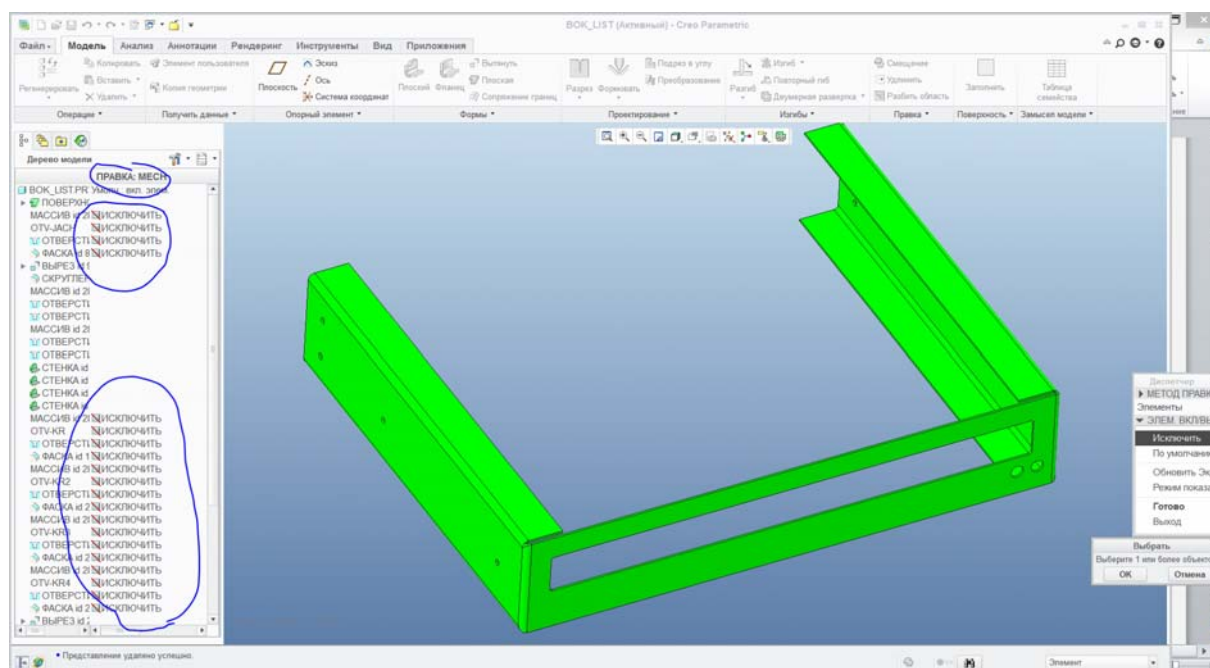


Рисунок 11

В верхней строчке указан статус фичеров по умолчанию. В данном случае по умолчанию фичеры будут участвовать в расчете. В меню справа включаем статус «Исключить» и производим выбор исключаемых фичеров как непосредственно на модели, так и из дерева. Периодически рекомендуется использовать команду «Обновить экран», чтобы визуализировать совершаемое упрощение. Если какой то элемент исключен ошибочно, то в правом меню выбираем вариант «По умолчанию» и указываем в дереве возвращаемый фичер. По окончании работы нажимаем «Готово».

Точно так же поступаем с другими деталями прибора.

После того, как все необходимые упрощения сделаны, следует ввести в упрощенные представления соответствующих сборок. Для этого нужно открыть сборку, в которую деталь входит непосредственно и создать или откорректировать соответствующее упрощенное представление.

При переключении с главного представления на представление «МЕШ» мы должны видеть исчезновение исключенных компонентов и упрощенный вид деталей.

Перед началом работы с Creo/Simulate нужно настроить систему единиц. Для этого предварительно необходимо включить главное представление, т.к. смена единиц измерения доступна только для него. Выбираем меню «Файл» – «Свойства»:

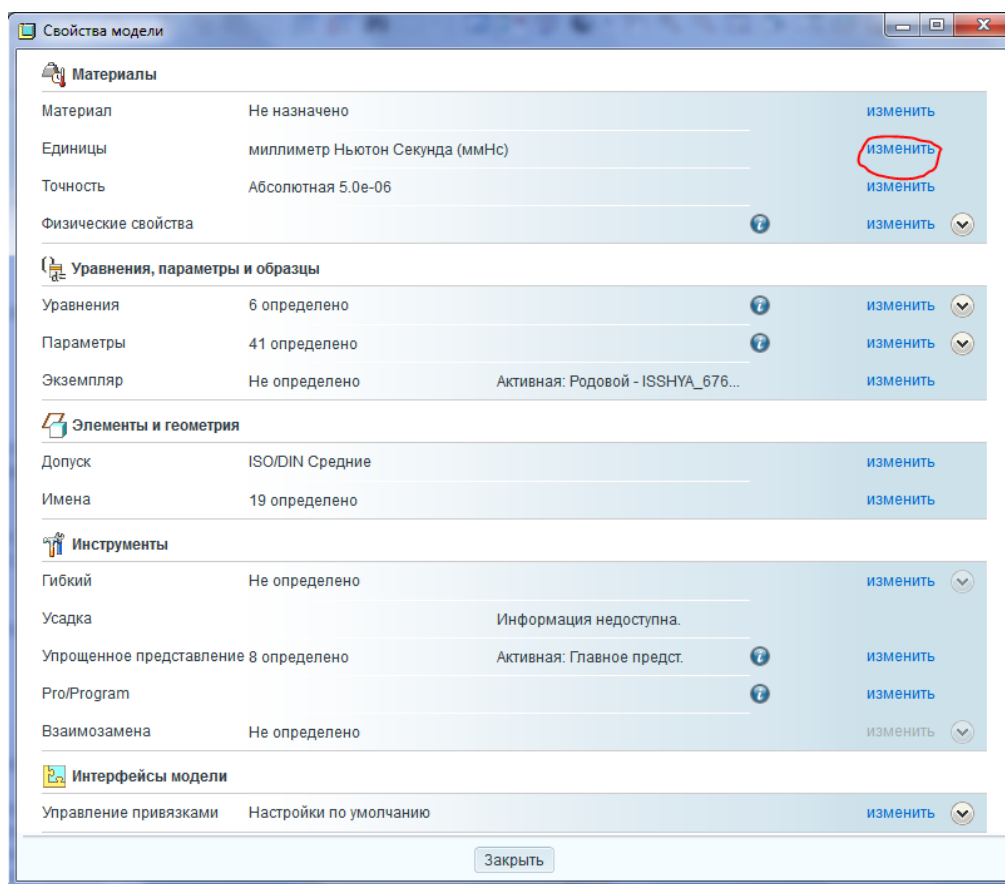


Рисунок 12

Выбираем удобную для расчета систему единиц и при необходимости указываем системе «Выполнить преобразование».

Проект необходимо сохранить, геометрическое упрощение закончено.

2.3. Задание материалов

Все вовлеченные в расчет детали должны обладать физическими свойствами. Для этого им необходимо назначить материалы.

Назначение можно сделать двумя способами:

В самом Creo/Parametric, выполнив команду «Файл» – «Свойства» – «Материал»;

В модуле Механики, применив назначение материала.

В первом случае назначение материала отражается на всех модулях Creo/Parametric, являясь, как бы, материалом по умолчанию. Во втором случае, назначение отражается только на расчетном модуле, при этом назначенный конструктором материал в Creo/Parametric остается нетронутым.

При назначении материала необходимо проследить за тем, чтобы все необходимые его свойства были введены правильно (см. рис. 13):

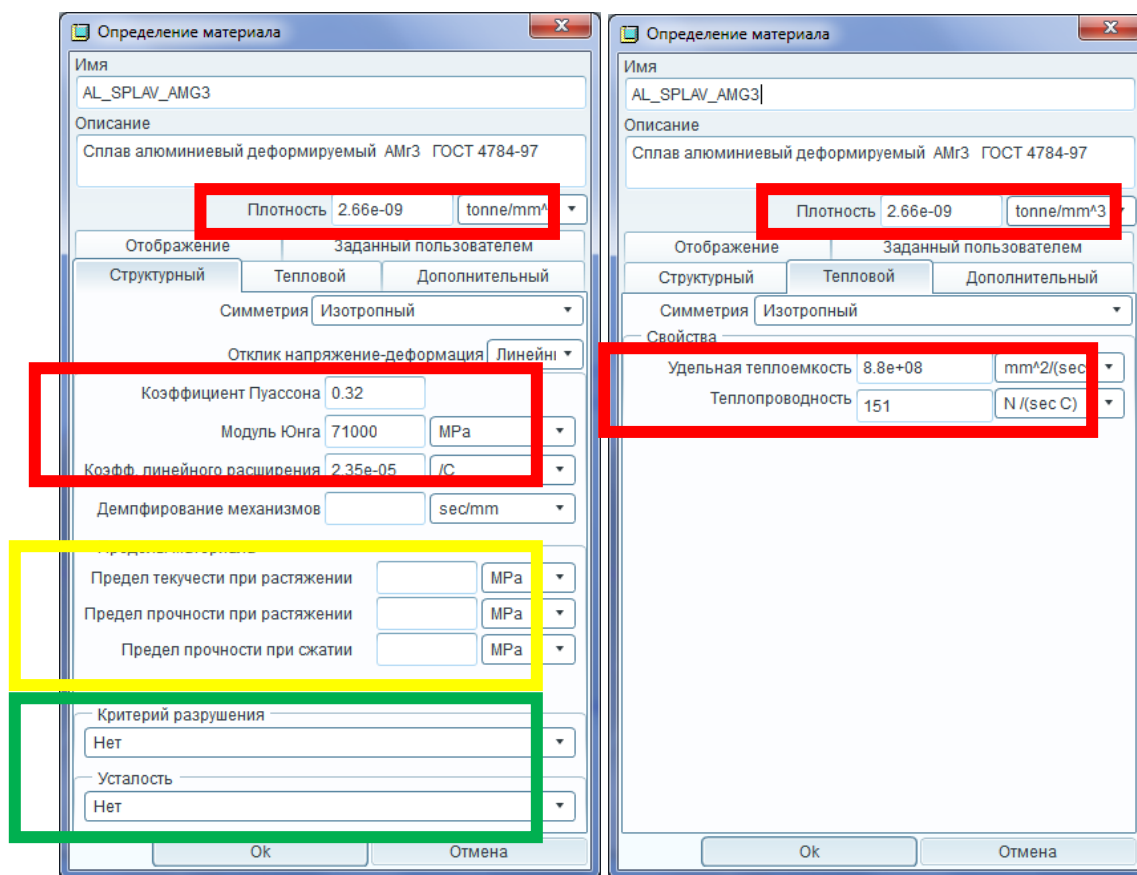


Рисунок 13

Необходимо наличие следующих значений для прочностного модуля (на рис. 13 обведено красным):

- плотность,
- коэффициент Пуассона,
- модуль Юнга,
- коэффициент линейного расширения;

для теплового:

- плотность,
- удельная теплоемкость,
- теплопроводность.

Отсутствие хотя бы одного из этих параметров неминуемо приведет к ошибке в соответствующем расчете!

Следующие параметры можно опционально вводить для линейного типа материала, а для упруго-пластического типа материала их ввод обязателен (на рис. 13 обведено желтым):

- предел текучести при растяжении,
- предел прочности при растяжении,
- предел прочности при сжатии.

Также можно задать «Критерий разрушения» материала (предел текучести или предел прочности). В этом случае появится возможность просчитать запас прочности.

Критерий «Усталость» обязательно задавать только в том случае, если проводится анализ на усталостные разрушения.

Используемые материалы сначала нужно перебросить в модель. Для этого нажимаем кнопку «Больше»:

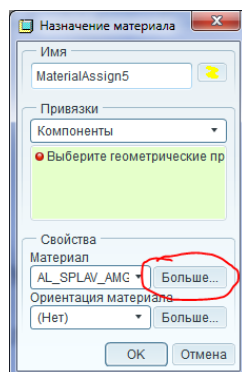


Рисунок 14

Получаем возможность работать с библиотекой:

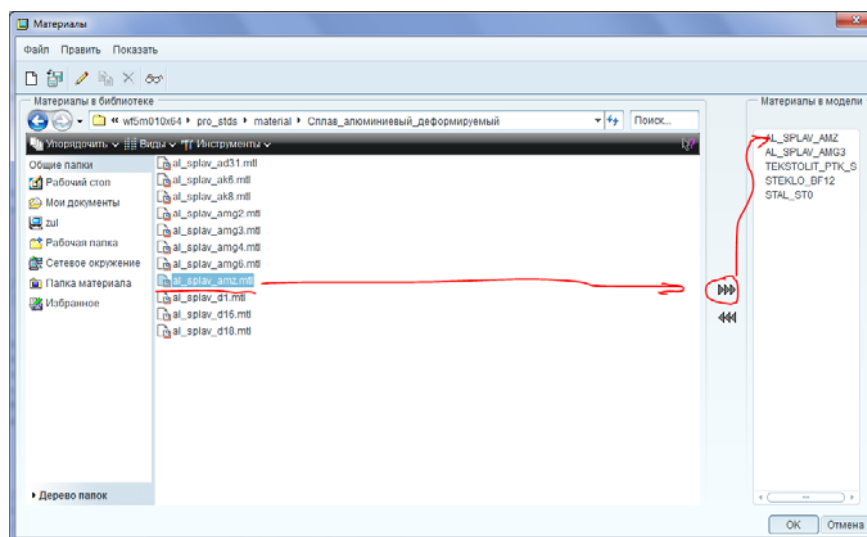


Рисунок 15

Перебрасываем в правый список сразу все необходимые материалы, создаем недостающие. Далее каждой детали (если необходимо переопределить материал) назначаем желаемый.

В итоге у тех деталей, материал которых назначен в Simulate, появится особый знак желтого цвета (ярлык, см. рис. 16).

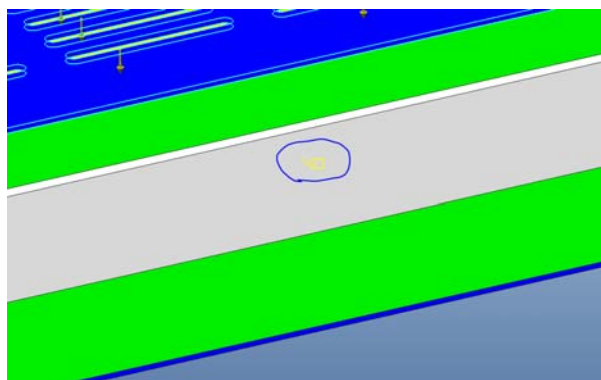


Рисунок 16

2.4. Идеализация взаимосвязей

При расчете сборочных единиц необходимо назначать механические или тепловые взаимосвязи. Компонент, не связанный или недостаточно связанный с другими, вызывает сбой в расчете.

Механические взаимосвязи определяются интерфейсом по умолчанию, частным интерфейсом, сваркой, жесткой связью, болтовым соединением, весовой связью, жесткой связью.

Интерфейс по умолчанию отвечает за взаимосвязи, не назначенные явно пользователем. Настраивается такой интерфейс через меню «Начало» – «Настройка модели» (см. рис. 17).

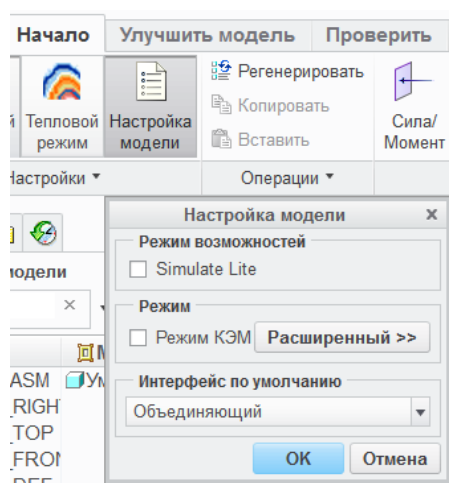


Рисунок 17

Существует три типа интерфейсов:

- объединяющий,
- свободный,
- контакт.

Объединяющий интерфейс соединяет соприкасающиеся компоненты по всей поверхности соприкосновения. Пересекающиеся в пространстве компоненты или компоненты с зазором не соединяются.

Свободный интерфейс не связывает детали даже в том случае, если они пересекаются или соприкасаются. В этом случае в обязательном порядке необходимо назначать индивидуальные связи для каждой пары взаимодействующих компонентов.

Контакт не позволяет компонентам или поверхностям проникать друг в друга, при этом разойтись в результате деформации такие компоненты могут свободно. Контактный интерфейс по умолчанию применять не рекомендуется, т.к. это может привести к неоправданной затяжке времени, связанной с попыткой приложения Simulate определить возможные соприкасающиеся компоненты. Как правило, конструктор знает о таких компонентах, их лучше назначать индивидуально.

Частный интерфейс, сварка, болтовое соединение, жесткая связь отменяют действие интерфейса по умолчанию в месте своего применения.

Рассмотрим назначение взаимосвязей на примере изделия. Проводим предварительный экспертный анализ конструкции:

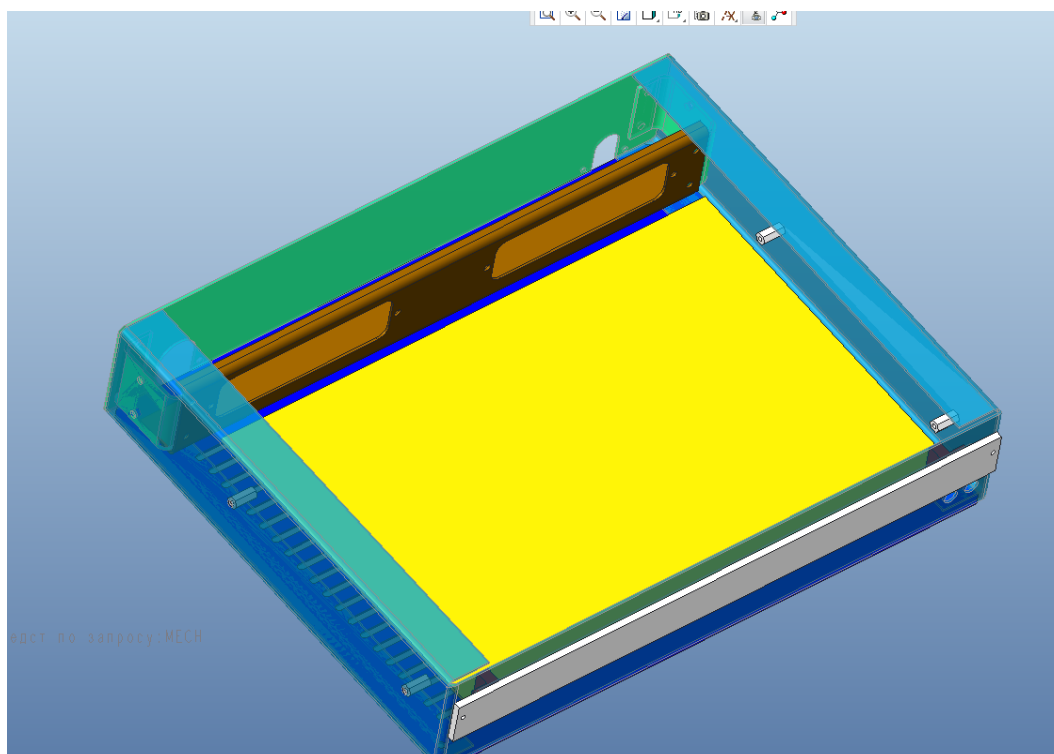


Рисунок 18

Модель изделия состоит из верхней и нижней перфорированных пластин, боковой и задней изогнутых пластин, задней плоской пластины, ячейки и шестигранных стоек. Разъемов и направляющих для ячейки нет. Вместо них будут использованы соответствующие связи.

Преимущественным взаимодействием является плотное прилегание, поэтому включаем объединяющий интерфейс по умолчанию.

Затем назначаем ручную взаимосвязь на стойках через жесткую связь:

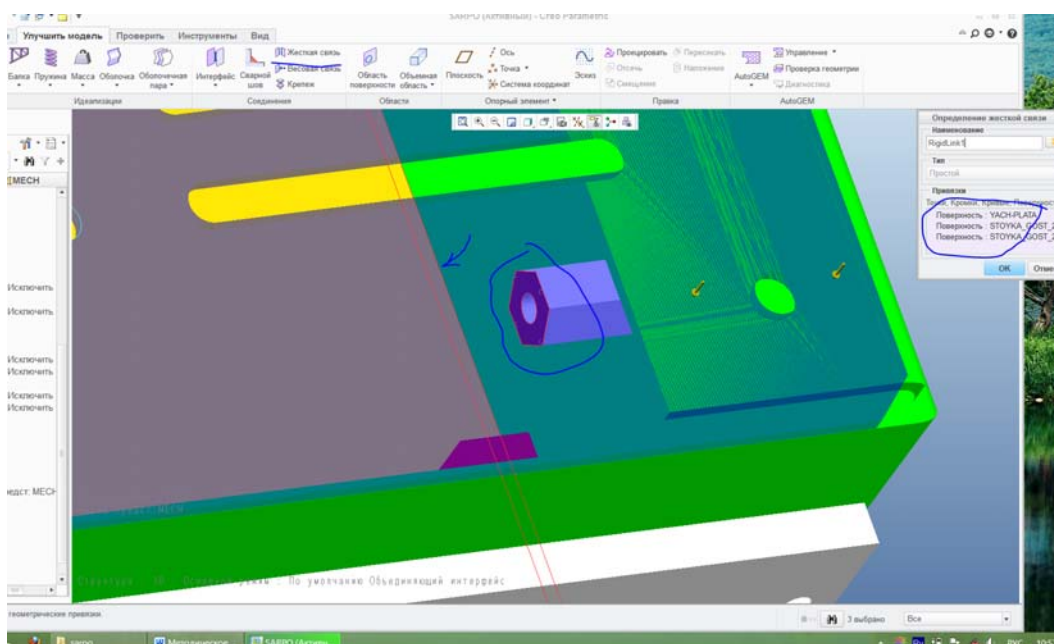


Рисунок 19

На рис. 19 поверхности стоек и торца платы на одной стороне указываем при нажатой клавише “Ctrl”. Таким же образом назначаем аналогичную связь с другой стороны.

Затем соединяем жесткой связью задний торец платы и отверстия разъемов:

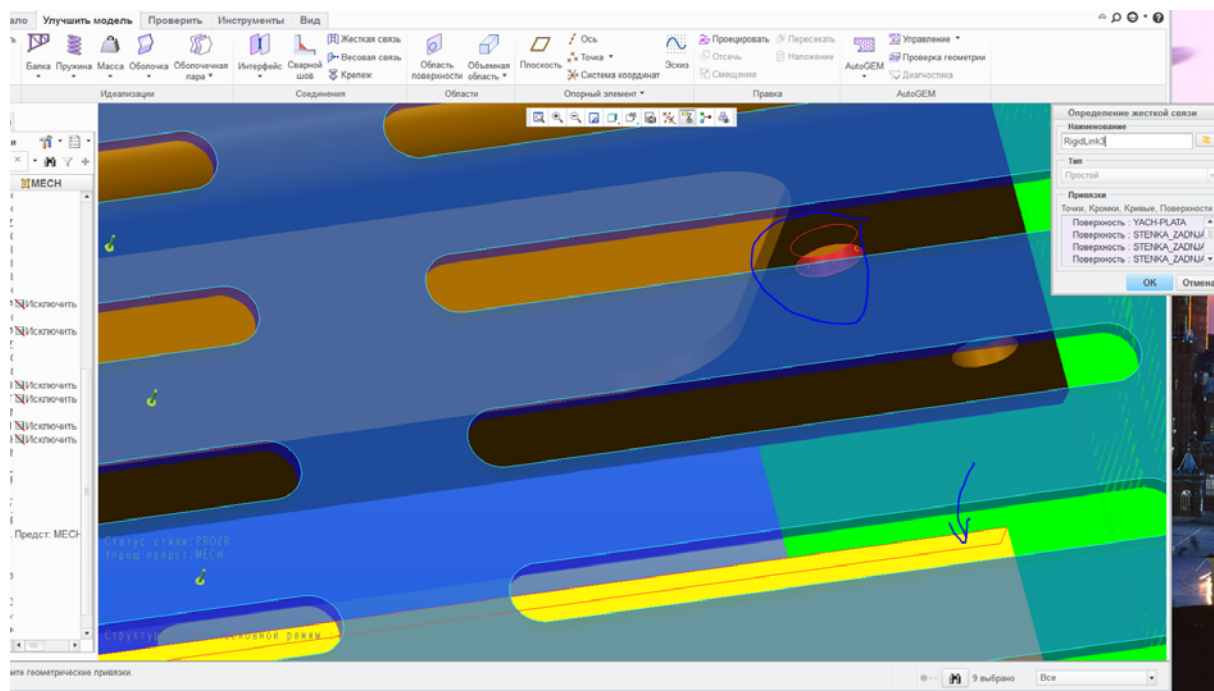


Рисунок 20

В результате использования интерфейсов и связей не должно оставаться компонентов, не связанных механической связью, в противном случае расчет завершится с ошибкой.

Зададим болтовые соединения пластин.

В отверстиях, где были крепежные элементы, выполняем болтовую связь:

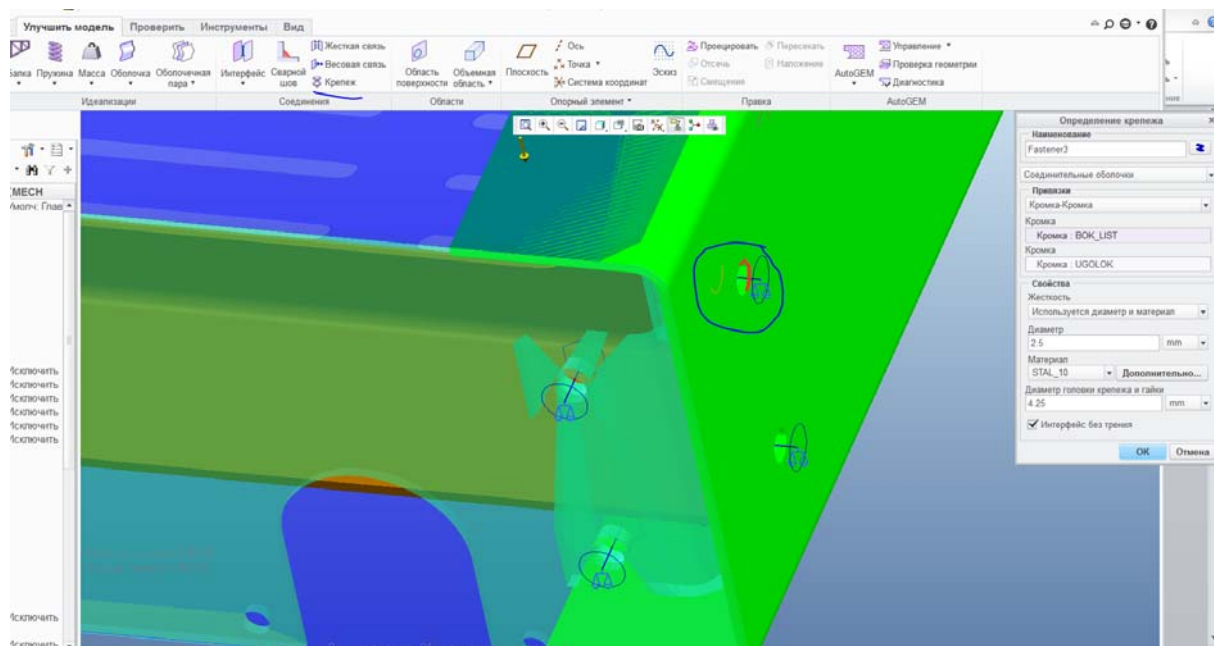


Рисунок 21

В данном случае указываются противолежащие кромки смежных деталей. Заполняются свойства соединения. После создания всех крепежей система автоматически синтезирует измерения. Приложение Simulate не анализирует прочность болтовых соединений, а лишь учитывает наличие связи. Измерения будут содержать осевые и перерезывающие составляющие реакций, что даст возможность рассчитать соединение на прочность в зависимости от его вида по стандартным формулам.

Иногда возникает необходимость обеспечить соединение в сложных случаях, когда при сборке не обеспечено касание. Тогда следует временно скорректировать модель на предмет устранения зазоров. Этого можно достичь, редактируя сборочную единицу, если есть зазор или, выполняя сборочный вырез, если нужно, ликвидировать взаимопроникновение компонентов друг в друга (в режиме сборки меню «Модель» – раздел «Компонент» – подменю «Операции с компонентами» – «Вычесть» и далее следовать подсказкам).

2.5. Задание граничных условий

Граничные условия предназначены для описания условий эксплуатации изделия. Различают два вида граничных условий: нагружения и закрепления. Для правильного описания поведения модели необходимо дать соответствующую экспертную оценку на основе сведений о месте установки и применения изделия и суметь абстрагироваться от реальных воздействий, заменяя их эквивалентными нагрузками, такими как сила, давление, нагрузка в опоре, линейное и центробежное ускорение, температура.

Любое закрепление имитируется шестью степенями свободы. Поэтому для задания закрепления следует проанализировать то, какое движение оно обеспечивает или не обеспечивает, и освободить соответствующие степени свободы.

Зададим граничные условия для модели. Начнем с нагружений.

По условию задачи изделие испытывает силу 30Н перпендикулярно верхнему перфорированному листу.

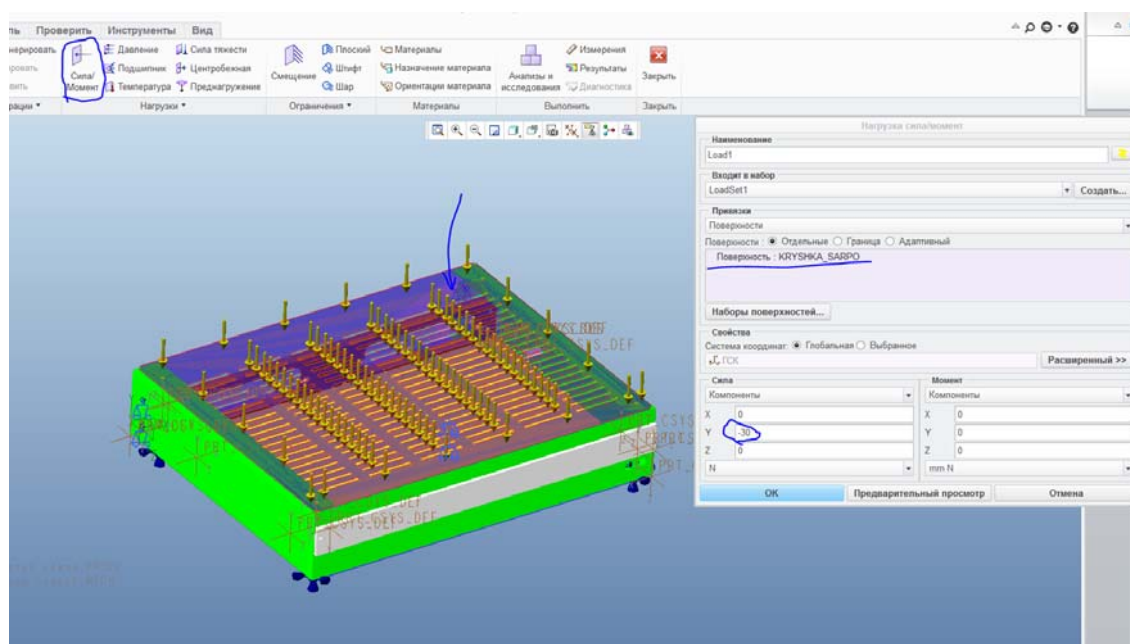


Рисунок 22

Зададим закрепления.

Для правильного задания закреплений нужно проанализировать место и способ крепления. Изделие крепится при помощи амортизаторов, которые были убраны упрощенным представлением. Закрепляем отверстия амортизаторов по всем степеням свободы:

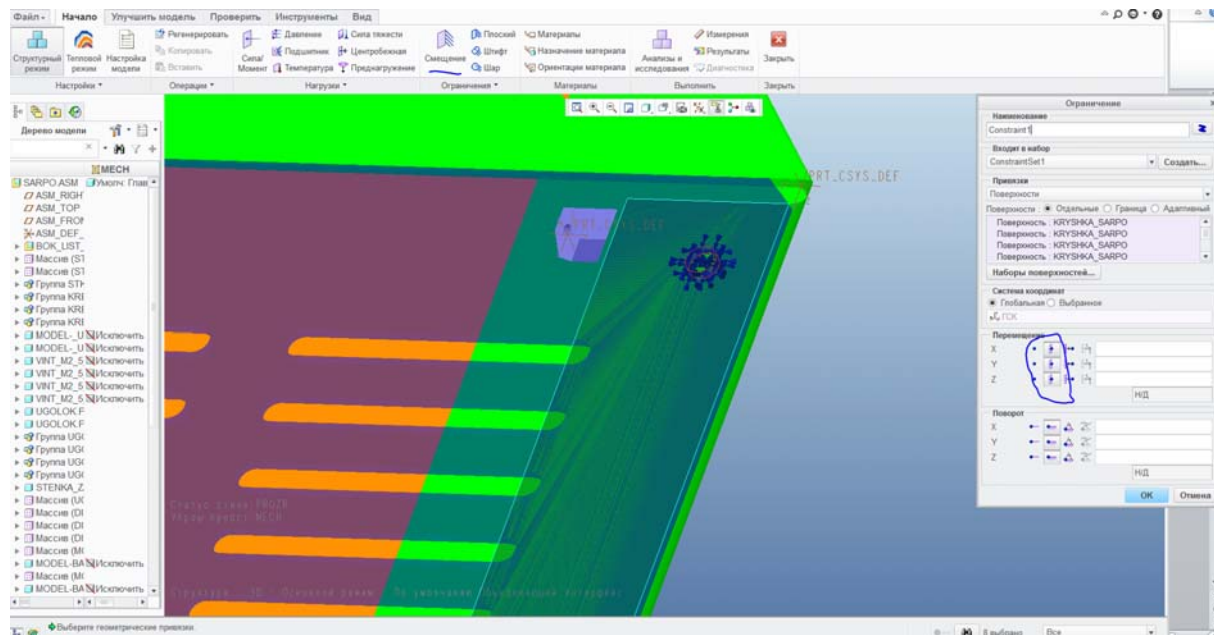


Рисунок 23

Необходимо выбрать все 4 отверстия.

2.6.Обозначение масс изделий

Изъятые компоненты необходимо «вернуть» на место при помощи массовых идеализаций. Для этого рекомендуется предварительно назначать жесткие связи на элементы крепежа, т.к. жесткость изъятых компонентов доподлинно не известна. Если компонент был приклеен или еще каким-либо образом жестко установлен, то следует задать регион на поверхности установки, повторяющий силуэт компонента. На этот регион и назначается масса, регион обозначается как жесткий.

В данном изделии больших сосредоточенных масс нет, опускаем этот шаг.

3. Проведение статического анализа

Статический анализ проводится с целью анализа прочности и жесткости конструкции при постоянно действующих граничных условиях.

Исходными данными для анализа являются наборы нагрузок и наборы закреплений. Допускается считать без закреплений, в этом случае все приложенные нагрузки должны быть статически уравновешены и необходимо использовать опцию «Освобождение инерции». Допускается считать без нагрузок, тогда в используемых наборах закреплений должна быть вынужденная деформация.

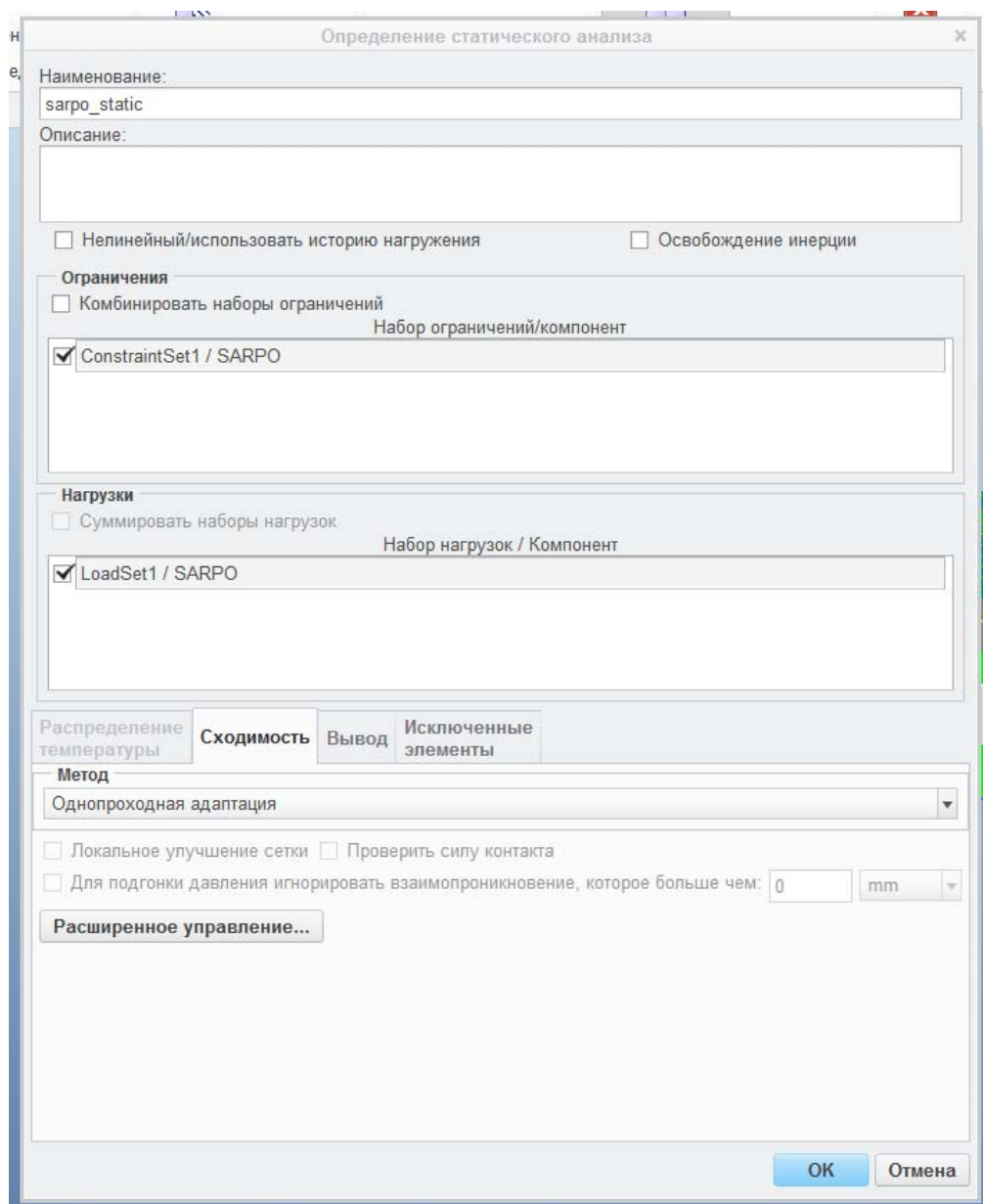


Рисунок 24

Выбираем требуемые наборы нагрузок и закреплений.

На вкладке «Сходимость» выбираем способ анализа точности:

- Быстрая проверка. Будет произведен расчет без анализа точности. Этот способ используется для проверки целостности модели и введенных данных (правильность данных не может быть проверена);
- Однопроходная адаптация. Будет произведен расчет и анализ точности. Точность расчета будет во многом зависеть от геометрии модели;
- Многопроходная адаптация. Самый трудоемкий способ расчета, позволяющий указать точность расчета. Его стоит использовать только на финальной, «чистовой» стадии расчета.

На вкладке «Вывод» выбираем величины, которые необходимо просчитать. Для анализа прочности модели необходимо рассчитывать её внутренние напряжения и сравнивать их с предельно допустимыми значениями для каждого материала. Превышение предела текучести вызывает необратимые пластические деформации.

Запускаем расчет.

Следует открыть окно «Состояние проработки», чтобы иметь возможность контролировать ход расчетов. Сигналом завершения расчета будет надпись «Выполнение успешно завершено».

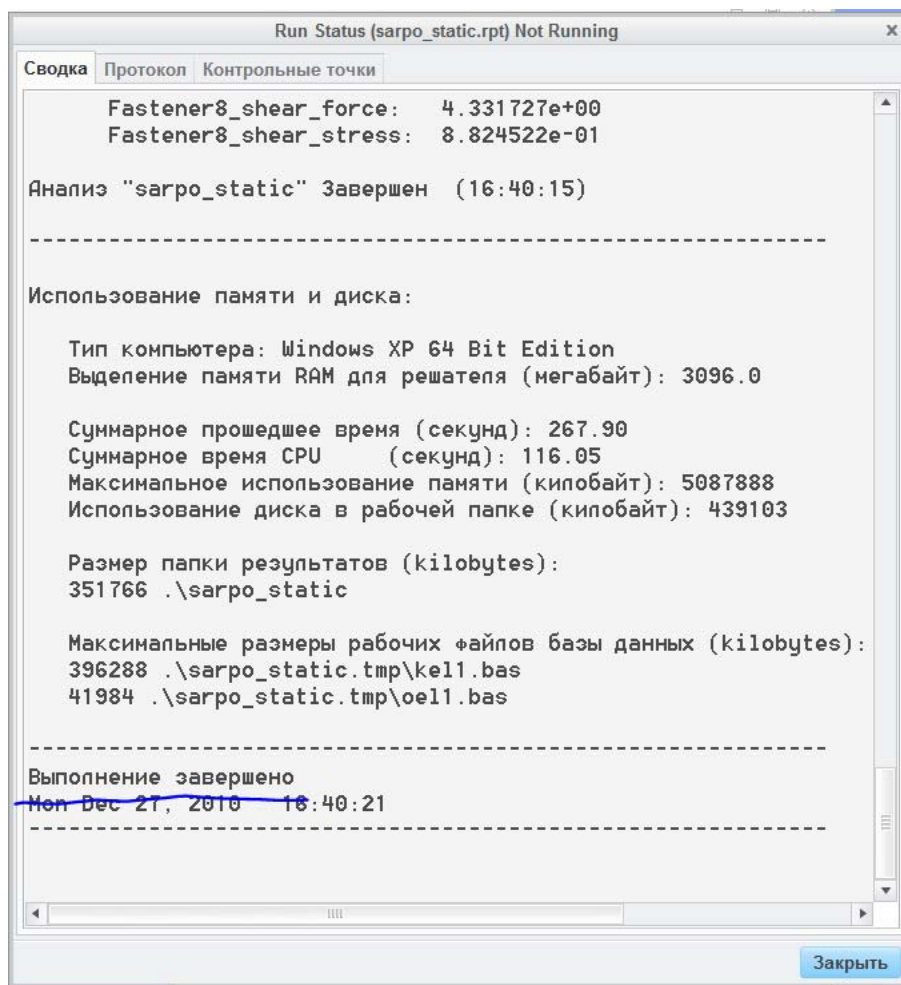


Рисунок 25

Если расчет завершился с ошибкой, то нужно проанализировать данные окна «Состояние проработки». В нем будет указана причина остановки расчета. Если причина не ясна, но следует придерживаться общего алгоритма поиска ошибки:

- проверить используемые материалы;
- проверить геометрию и оболочки через инструмент «Autogem»;
- проанализировать взаимосвязи между компонентами. Все компоненты должны образовать единую «механическую цепочку», т.е. не должно быть «незакрепленных» компонентов. Проверить интерфейс по умолчанию, частные интерфейсы, соединения. Следует помнить, что объединяющие интерфейсы объединяют только соприкасающиеся компоненты, а не пересекающиеся или располагающиеся с зазором. Пересечение можно попытаться временно устранить либо корректировкой расположения деталей сборки или применив команду «Вычитание» (в режиме сборки «Править – Действия с компонентами – Вычесть»);
- создать сетку при помощи команды «Создать» инструмента «Autogem»;
- проверить объем свободного места на диске, объем оперативной памяти, права доступа к используемой папке.

Систему креплений можно проверить, используя модальный анализ с поиском жестких форм. При просмотре режимов колебаний выявляются плохо закрепленные элементы (см. раздел 4).

Запускаем постпроцессор.

В результате расчета получаем картину распределения эквивалентных напряжений (von Mises) по модели.

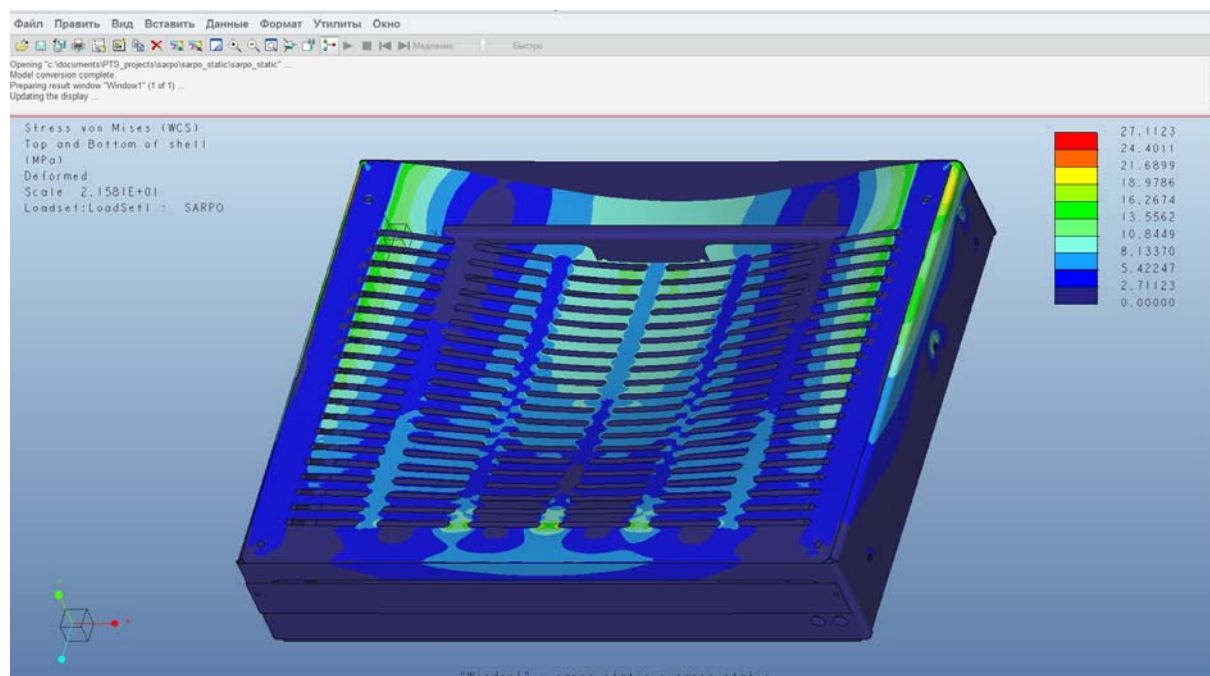


Рисунок 26

С помощью средств построения сечений, динамического запроса, запроса максимума проверяем значения напряжений по модели. В данном случае мы видим «проникновение» перфорированной пластины внутрь стенки. Однако этот эффект объясним за счет утрированного показа деформации. При нормальном показе такого эффекта не будет.

Если эквивалентное напряжение превышает предел текучести, то происходит необратимая деформация модели. Необходимо предпринять шаги по её доработке или выбору более подходящего материала.

4. Проведение модального анализа

Модальный анализ проводится с целью вычисления собственных частот и режимов колебаний в исследуемом диапазоне частот. Исходными данными для анализа является модель и закрепления. Нагрузки в данном случае не учитываются.

Этот анализ является обязательным шагом перед поставкой любой динамической задачи.

Модель должна быть закреплена так, чтобы исключить возможность свободных перемещений. Возможен расчет незакрепленной или не полностью закрепленной модели, в этом случае нужно включать опцию «С поиском жестких форм».

Имя	Компонент
ConstraintSet1	SARPO

Число форм колебаний	4
Минимальная частота	1
Максимальная частота	200

Рисунок 27

Содержимое вкладки «Сходимость» имеет то же значение, что и для статического анализа применительно к точности расчета собственных частот.

В результате расчета получаем отчет, где указаны найденные собственные частоты. В постпроцессоре можно при помощи анимации посмотреть деформированное состояние, чтобы оценить движение колебательной системы при том или ином резонансе. Если проводился поиск «жестких форм», то на низших частотах можно будет увидеть свободное движение модели или отдельных её компонентов.

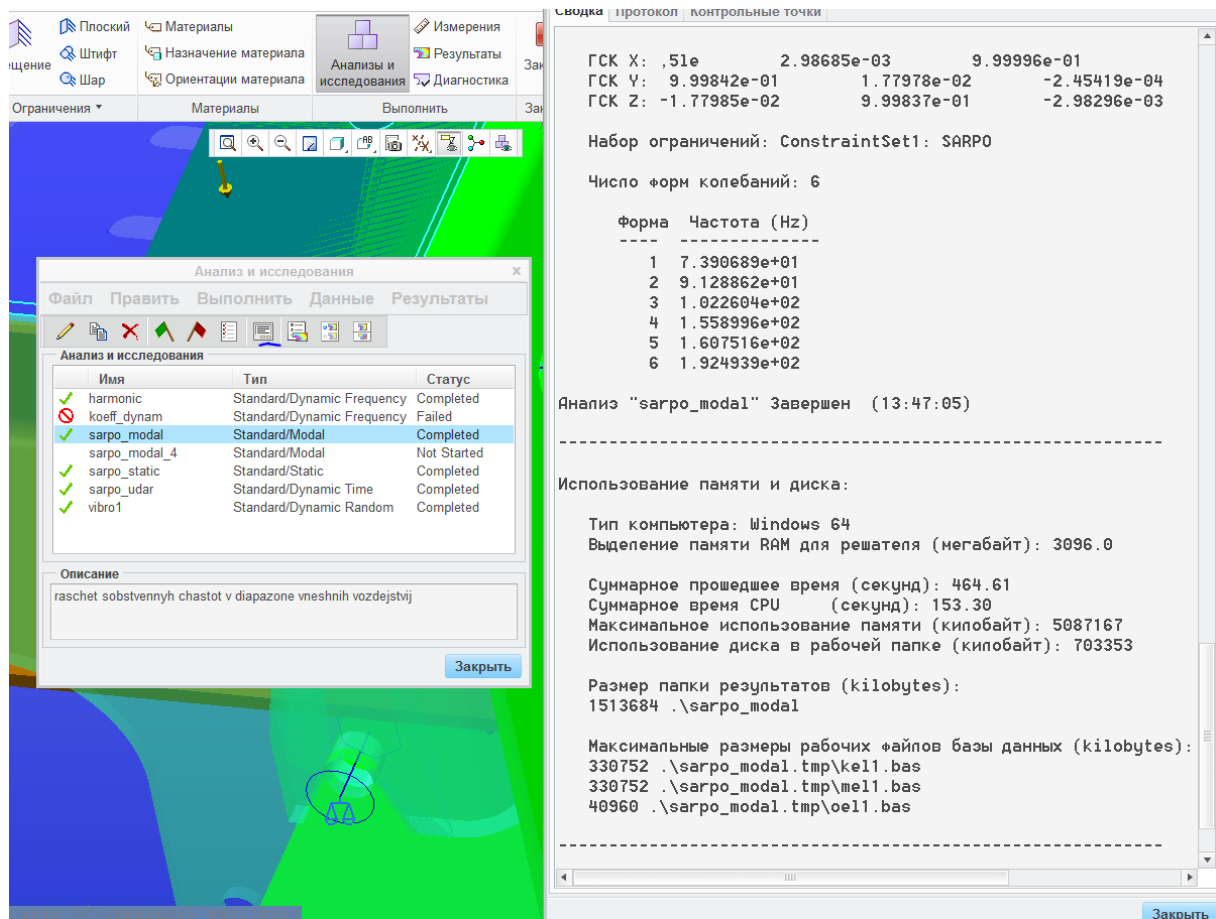


Рисунок 28

5. Расчет на воздействие ударного импульса

Расчет проводится с целью определения ударного ускорения, действующего на компонентную базу, и напряжения в модели. Перед постановкой переходного анализа нужно поставить и решить модальный.

В качестве исходных данных требуется амплитуда, длительность, форма ударного импульса. Иногда дополнительно задается частота следования импульсов (скважность). Если форма импульса не задана, то расчет ведется по синусоидальной форме.

Анализ проводится следующим образом:

- создается переходной анализ,
- создаются и размещаются необходимые динамические измерители, собирающие данные для графиков, или вычисляющие максимальные значения;
- проводится анализ;
- анализируется результат.

Создаем анализ («Файл – новый динамический – переходной»).

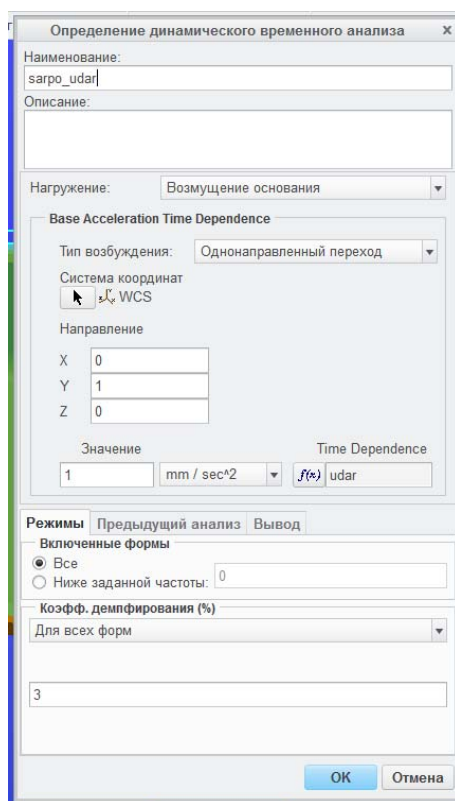


Рисунок 29

Выбираем вид воздействия – возмущение основания, что соответствует воздействию, приходящему через крепления.

Задаем функцию, определяющую характеристики ударного импульса. Для синусоидального импульса можно применить следующее выражение:

$$If (time < 0.015, 20 * 9800 * \sin(time / 0.015 * \pi), 0),$$

где 0.015 – время импульса в сек., $20 \cdot 9800$ – амплитуда (20g в мм/сек²), time – переменная времени.

Рисунок 30

Если нажать «Обзор», то для диапазона от 0 до 0,02 с график входного импульса будет выглядеть следующим образом:

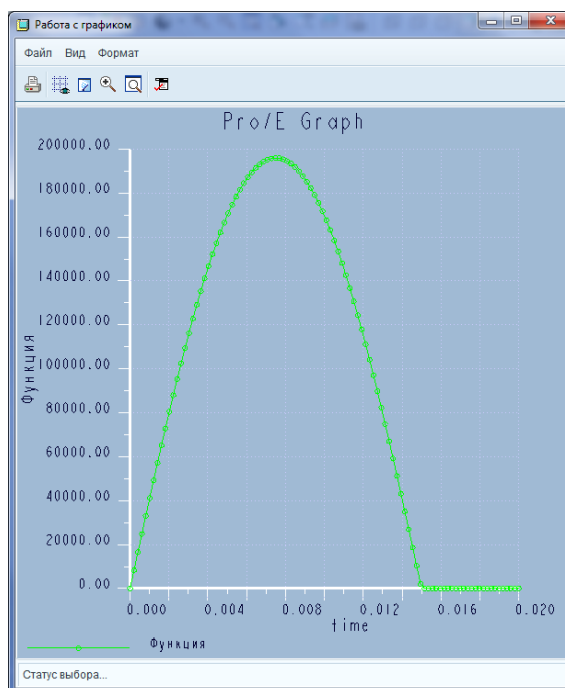


Рисунок 31

Возвращаемся к исходной форме. Расчет необходимо проводить отдельно для каждого из 3-х направлений, задавая последовательно направления 1,0,0; 0,1,0; 0,0,1. Следует учитывать, что амплитуда этого вектора «умножается» на введенную функцию, поэтому сюда можно выносить постоянный множитель. Задаем расчет относительно «основания», чтобы система вычисляла абсолютные значения ускорений, а не разницу, которую к входному воздействию добавляет модель.

Задаем число используемых форм, коэффициент демпфирования.

Коэффициент демпфирования выбирается исходя из материала компонента, «соединяющего» модель и носитель. Коэффициент задается как разница между амплитудой соседних периодов колебаний, выраженная в процентах. Коэффициент зависит от частоты колебаний, однако для частот в пределах 2кГц и с относительно небольшой амплитудой в воздушной среде такой зависимостью можно пренебречь.

Обычно для колебаний в воздушной среде используют следующие значения коэффициентов:

Таблица 1

Материал	Коэффициент демпфирования, %
Металлические сплавы	3
Пластики	4-8
Резина амортизаторы АД, АЧ	6-10
Амортизаторы АФД	20-40
Амортизаторы АПН	30-60

На вкладке «Предыдущий анализ» необходимо выбрать тот модальный анализ, который будет задействован в расчете. Опция «Использовать результаты проработки» позволяет не перезапускать модальный анализ, экономя время. Однако в этом случае необходимо самим заботиться о том, чтобы результаты модального анализа соответствовали модели. Если опцию не использовать, то модальный анализ будет вовлечен в переходной и последовательно будут запущены и один, и второй анализы.

На вкладке «Вывод» необходимо указать, какие величины рассчитывать.

Рисунок 32

Вместо автоматических интервалов вывода рекомендуется устанавливать пользовательские, перекрывая по времени анализа как минимум две длительности импульса. Опция «Все результаты» напротив каждого шага означает, что в каждый момент времени будет рассчитана моментальная картина распределения напряжений и перемещений. Время анализа в этом случае увеличивается.

Перед запуском анализа необходимо создать динамические измерители, иначе ударные ускорения и максимальные характеристики за время анализа рассчитаны не будут.

Создадим следующие измерители: ускорение на каждом шаге для поверхности платы, т.к. там находятся радиоэлементы, напряжение на каждом шаге для всей модели.

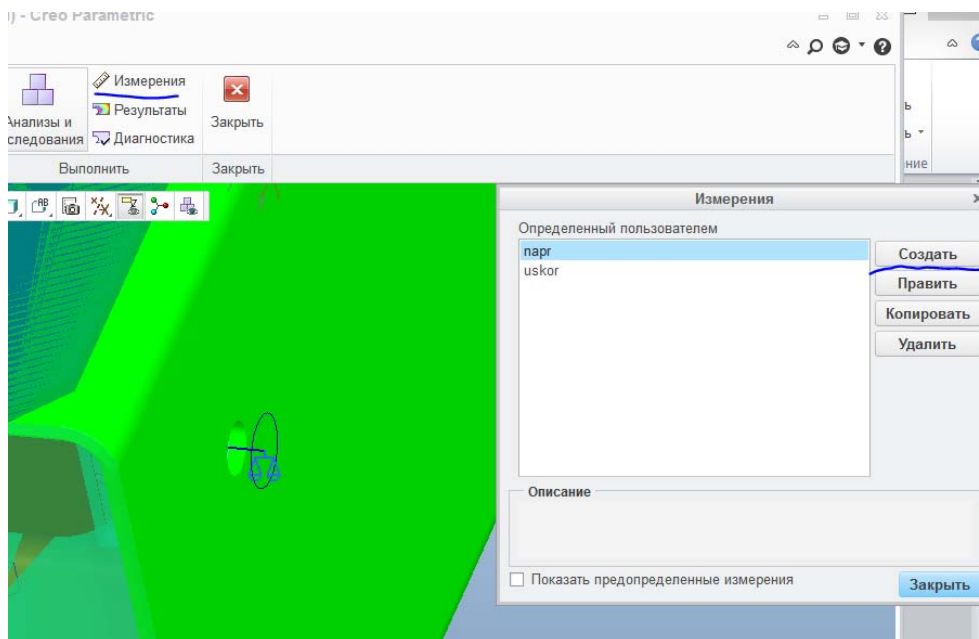


Рисунок 33

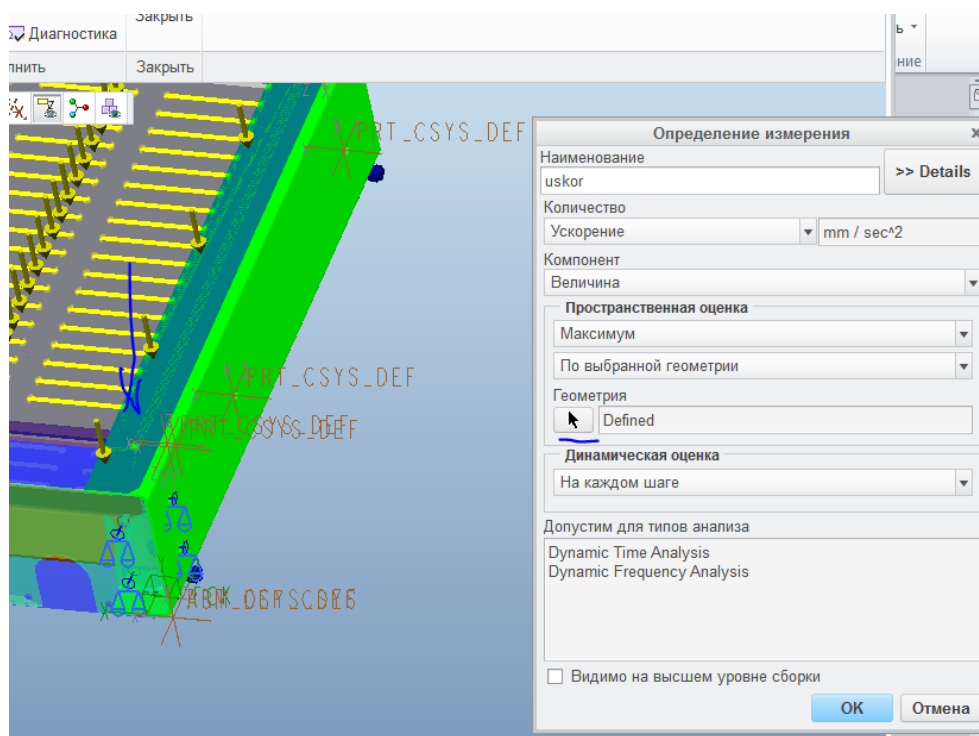


Рисунок 34

В качестве геометрии нужно выбрать поверхность печатной платы (в данном случае средствами выбора «скрытых» объектов).

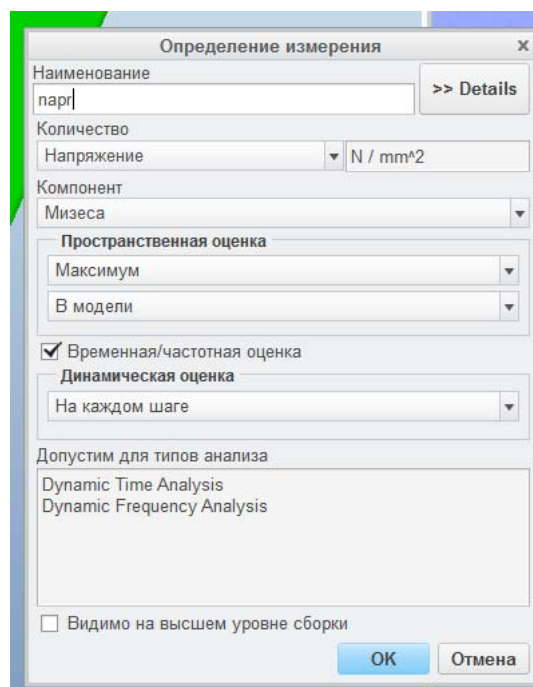


Рисунок 35

При задании измерителей нужно проводить оценку по времени/частоте, иначе измерители в динамических анализах работать не будут. Можно также ставить метку времени. Это такой измеритель, который содержит время возникновения расчетного значения (в данном случае – время возникновения максимального напряжения).

Следует назначать измерители оптимально, т.к. чрезмерное их количество увеличивает время анализа.

Далее проводим анализ.

В результате расчета запускаем постпроцессор, строим графики, в качестве величины нужно выбрать «измерение» и затем требуемый измеритель.

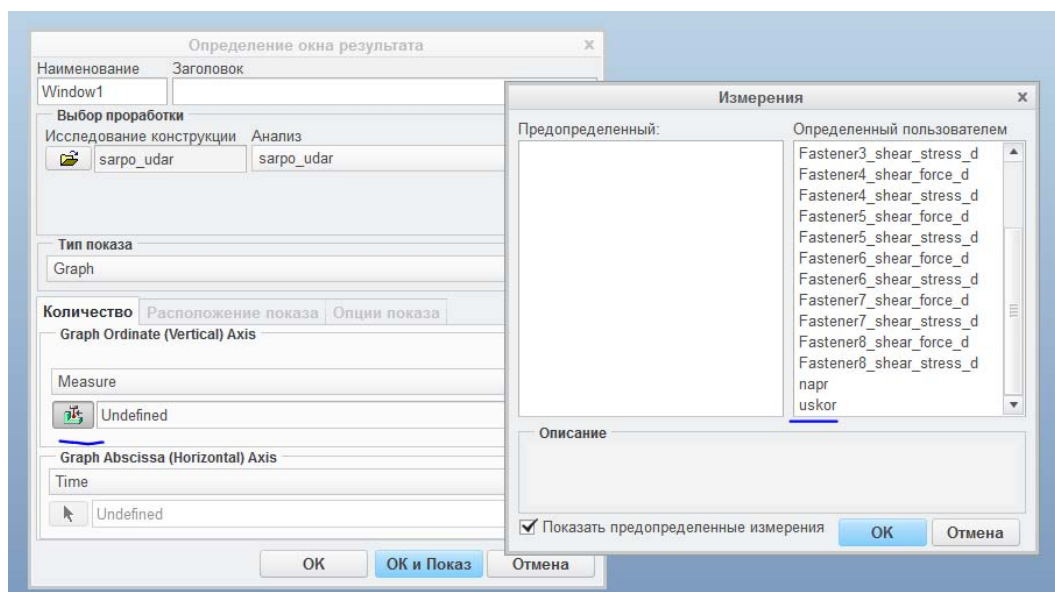


Рисунок 36

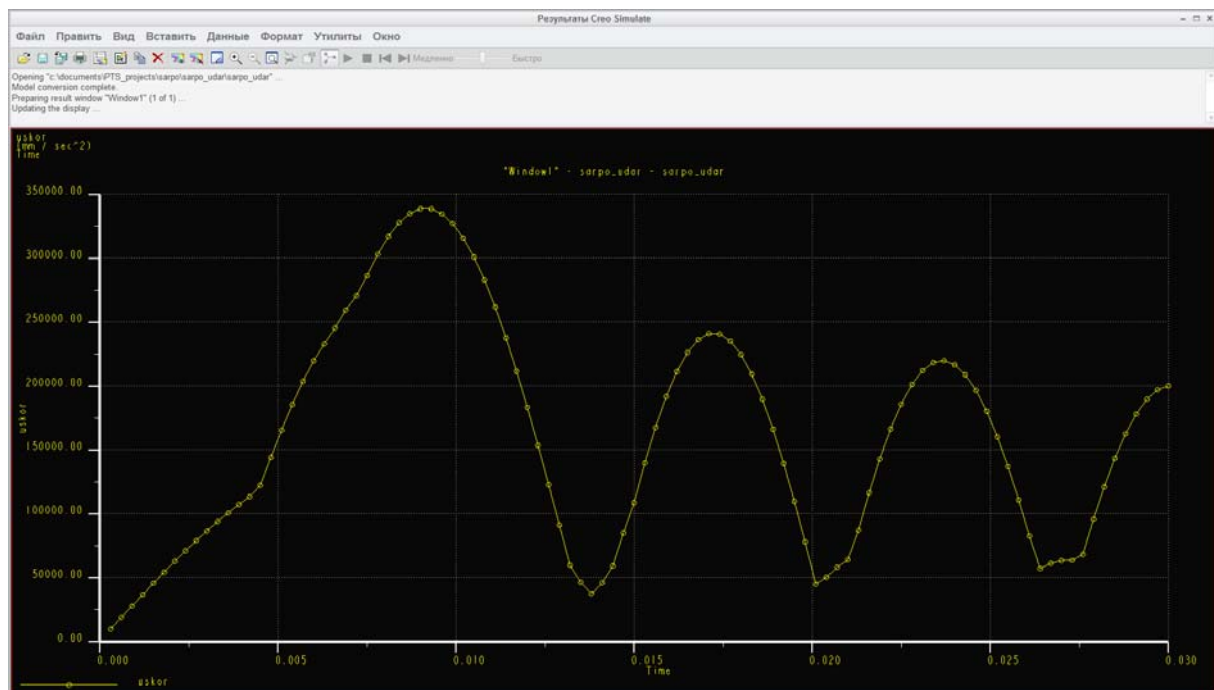


Рисунок 37

В результате анализа графиков принимают решение о внесении изменений в модель. Цель этих изменений – достижения большей разницы между временем импульса и периодом собственных колебаний модели. Применяется либо амортизация, либо ужесточение конструкции.

6. Расчет на воздействие гармонических вибраций

Расчет на гармонические воздействия проводится аналогично расчету на ударные, за исключением задания внешних воздействий, поэтому следует изучить материал раздела 5 с отличиями, указанными ниже.

Создаем «Новый динамический – Гармонический» анализ. В качестве входной функции берем на этот раз распределение виброперегрузки по диапазону частот. Обычно распределение задается как амплитуда виброускорения в диапазоне частот. Такое внешнее воздействие удобнее задавать в виде таблицы.

Зададим для примера входное воздействие в диапазоне до 1000Гц с перегрузкой 20g:

Dynamic Frequency Analysis

Наименование: harmonic

Описание: harmonicheskie vozdejstvia

Нагружение: Возмущение основания

Base Acceleration Frequency Dependence

Тип возбуждения: Однонаправленный переход

Система координат: WCS

Направление: X: 0, Y: 1, Z: 0

Значение	Амплитуда	Фаза (радианы)
9800	mm / sec^2	f(*) vvozdz
		f(*) zero

Режимы: Режимы | Предыдущий анализ | Вывод

Включенные формы: Все (selected), Ниже заданной частоты: 0

Кэфф. демпфирования (%): Для всех форм

3

OK Отмена

Рисунок 38

Имя: vibracia

Описание:

Определение

Таблица

	Значение	Значение
1	0.00000000	0.00000000
2	5.00000000	20.00000000
3	1000.00000000	20.00000000
4	1010.00000000	0.00000000
5	1020.00000000	0.00000000

Добавить строку
Удалить
Очистить все
Импорт...

Линейный Линейный

ОК Просмотреть... Отмена

Рисунок 39

Расчет также проводится для возмущения основания в трех направлениях. При этом так же нужно использовать динамические измерители, описанные в разделе 5.

Задаем диапазон расчета от 0 до 1000 Гц, 100 шагов.

Dynamic Frequency Analysis

Наименование: harmonic

Описание: harmonicheskie vozdejstvia

Нагружение: Возмущение основания

Base Acceleration Frequency Dependence

Тип возбуждения: Однонаправленный переход

Система координат: WCS

Направление

X: 0
Y: 1
Z: 0

Значение: 9800 mm / sec^2 Амплитуда: f(t) Фаза (радианы): zero

Режимы: Предыдущий анализ Вывод

Вычислять

Смещения, скорости, ускорения относительно: Основание

☒ Напряжения
☐ Повороты ☐ Массовые коэфф. вклада

Шаги вывода

Пользовательские шаги вывода

Число главных шагов: 101

Шагов вывода измерений на главный шаг: 1

☐ Включить шаги частоты из табличной функции

ОК Отмена

Рисунок 40

Включаем расчет, ждем его окончания, запускаем постпроцессор. Получаем графики измерителей:

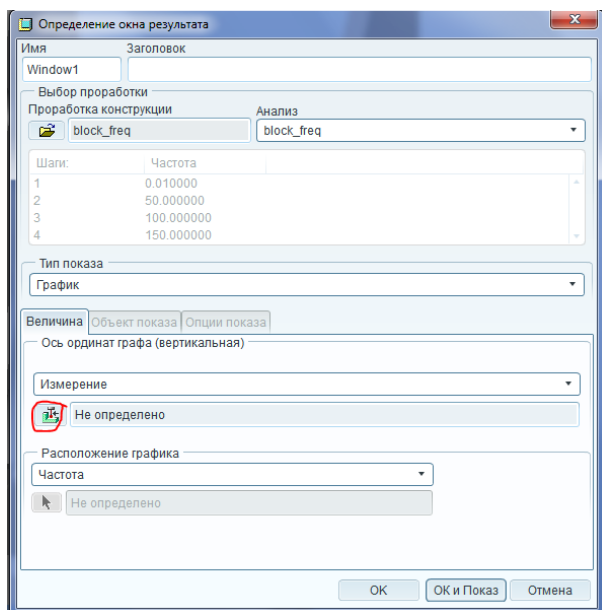


Рисунок 41

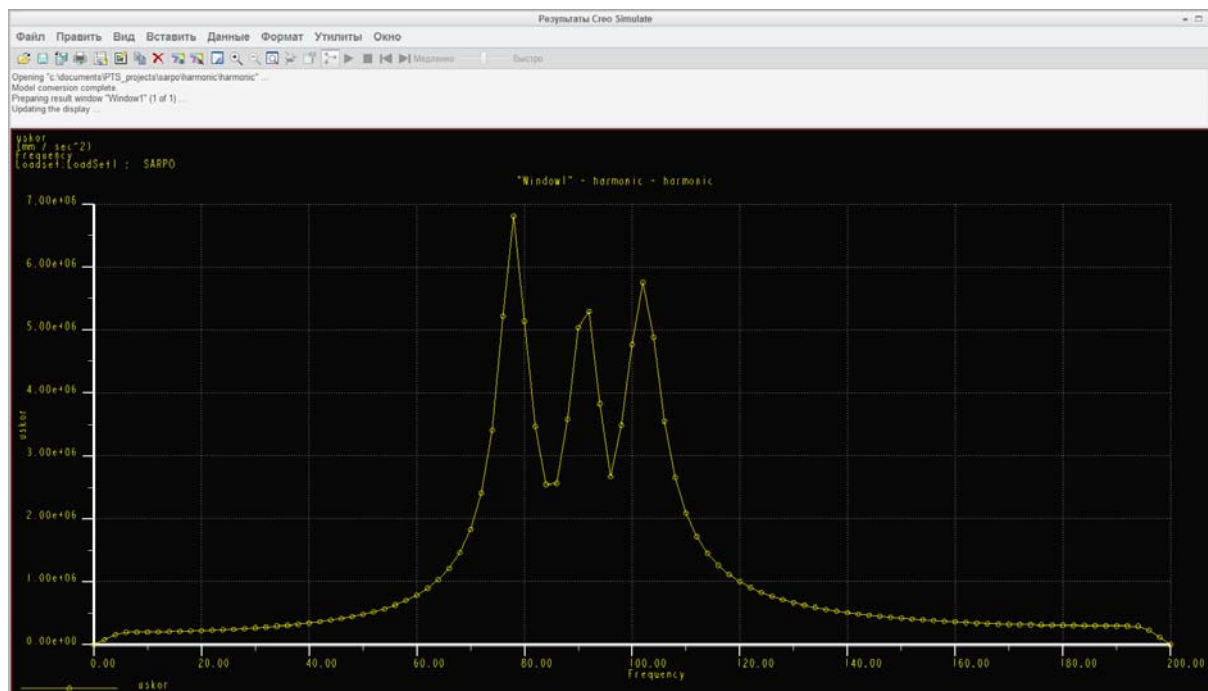


Рисунок 42

По этим графикам можно сделать вывод о том, выдерживает или нет элементная база возникающие перегрузки. Целью коррекции конструкции здесь также является либо вывод резонансных частот за пределы внешних воздействий при помощи создания более жесткой конструкции, либо введение амортизации.

7. Расчет на воздействие случайных вибраций

Расчет на действие случайных вибраций проводится аналогично описанному в разделах 5 и 6.

В качестве входной функции теперь берется плотность вероятности распределения энергии колебаний в зависимости от диапазона частот. Единицами измерения является $\frac{\text{м}^2}{\text{с}^4 \cdot \text{Гц}}$. Целью расчета является получение среднеквадратических величин ускорений и напряжений. Рекомендуется изучить ГОСТ 30630.1.9-2002.

Вводим входную функцию:

		Значение
1	0.00000000	0.00000000
2	9.00000000	0.00000000
3	10.00000000	0.04000000
4	50.00000000	0.04000000
5	55.00000000	0.06000000
6	1000.00000000	0.06000000
7	1010.00000000	0.00000000
8	1020.00000000	0.00000000

Рисунок 43

Согласно ГОСТ 30630.1.9-2002 задаем частотную дискретизацию и ставим галочки «Вычислять среднеквадратические значения ускорений и напряжений». Вне зависимости от того, задана или нет частотная функция вблизи 0 Гц, входная функция должна описывать значения вблизи 0 Гц. Так же следует ввести шаги около 0 в частотную дискретизацию.

Dynamic Random Analysis

Наименование:
vibro1

Описание:
sh_s_v

Нагружение:
Возмущение основания

Base Acceleration PSD

Тип возбуждения:
Однонаправленный переход

Система координат
 WCS

Направление

X
0

Y
1

Z
0

Значение
96040000
mm^2 / (sec^4 Hz)
PSD
f(*) PsdFunc1

Режимы
Предыдущий анализ
Вывод

Включенные формы

☒ Все

☐ Ниже заданной частоты:
0

Кэфф. демпфирования (%)

Для всех форм

3

OK
Отмена

Рисунок 44

Динамические измерители из разделов 5 и 6 в данном случае неприменимы, т.к. воздействие происходит повсеместно во всем спектре. В качестве результатов получаем вероятностные величины, распределенные по модели – среднеквадратические результаты напряжений, перемещений, ускорений.

8. Тепловой анализ

Цель теплового анализа – получение распределения температур по модели и передача данных для расчета температурных деформаций.

Анализ проводится аналогично прочностному статическому анализу. В качестве «нагрузок» применяются тепловые нагрузки, в качестве «закреплений» – заданные температуры и конвекция. Необходимо, чтобы для всех используемых материалов в библиотеке были корректно заданы плотность, удельная теплоемкость и теплопроводность. Подготавливается модель аналогично разделу 2, если это не было сделано ранее.

Зададим тепловые нагрузки.

На печатной плате располагаются тепловыделяющие компоненты. Задаем поверхностное тепловыделение:

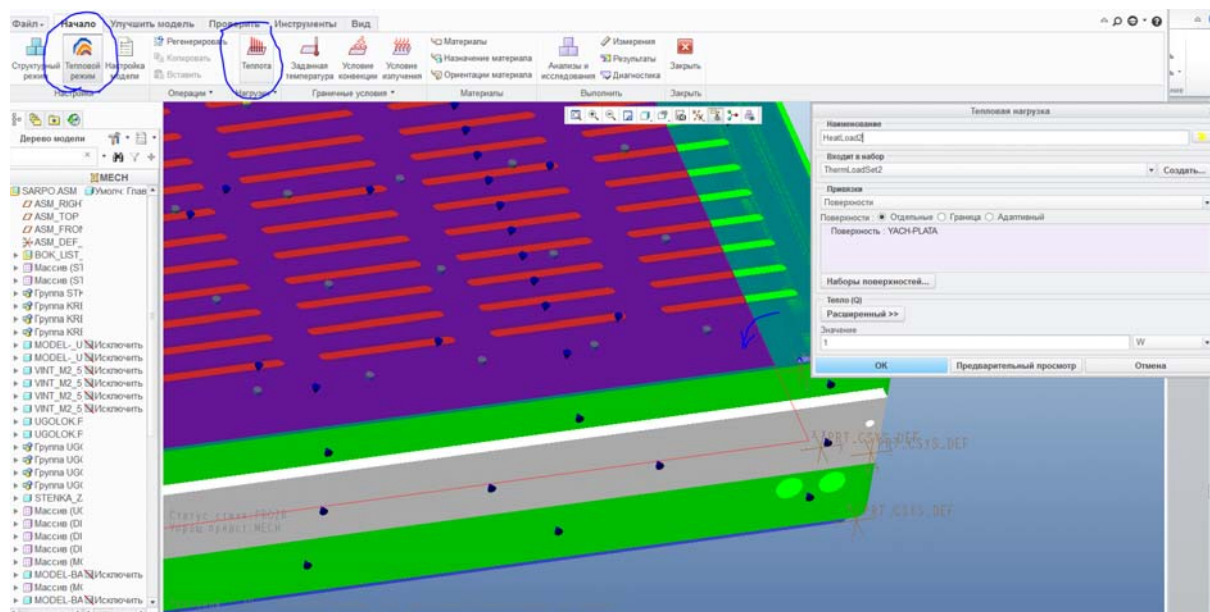


Рисунок 45

Тепловыделение с компонента (объема) задавать нельзя, т.к. для платы ранее была применена оболочечная идеализация (оболочечная пара).

Наружные поверхности корпуса и платы соприкасаются с воздухом. Задаем коэффициенты конвекции для корпуса:

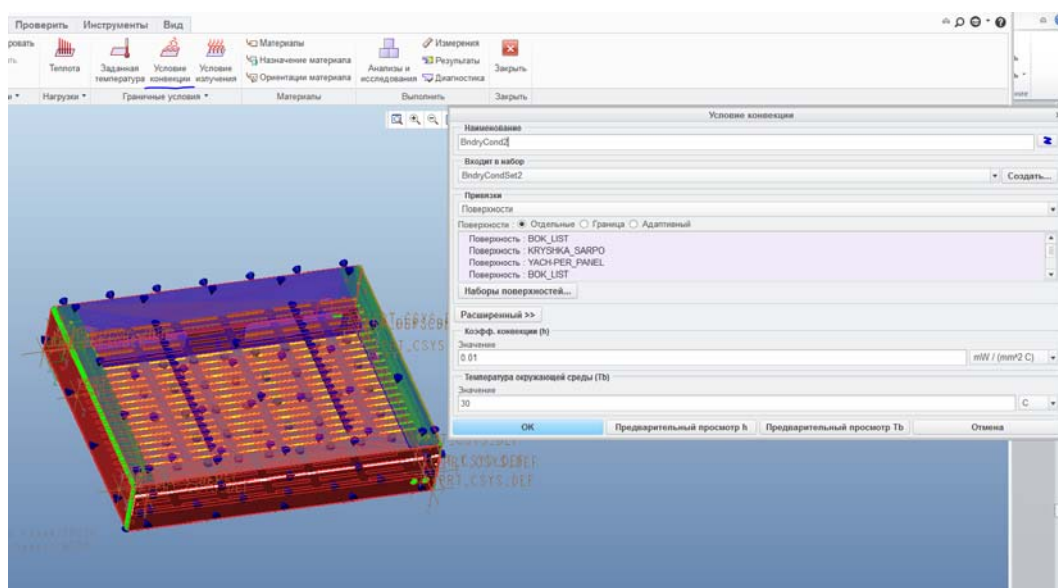


Рисунок 46

и для платы:

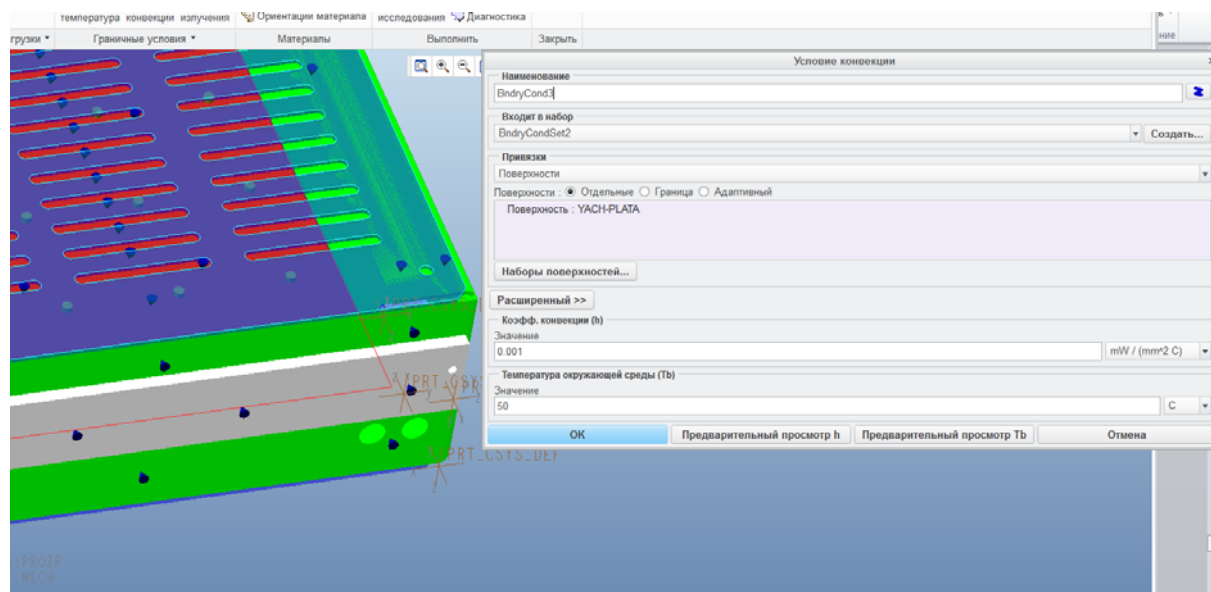


Рисунок 47

Коэффициенты конвекции и температура корпуса были рассчитаны заранее по критериям Грасгофа и Прандтля.

Расчет коэффициента должен быть проведен заранее. Это наиболее сложная часть теплового анализа, т.к. коэффициент заменяет реальные процессы конвекции, которые в Creo/Simulate не поддерживаются. Специальные пакеты для такого расчета существуют, однако и они требуют хороших знаний в области гидро-газодинамики. Поэтому для расчетов рекомендуется использовать, например, итерационный подход, изложенный в книге [4].

Создаем тепловой анализ:

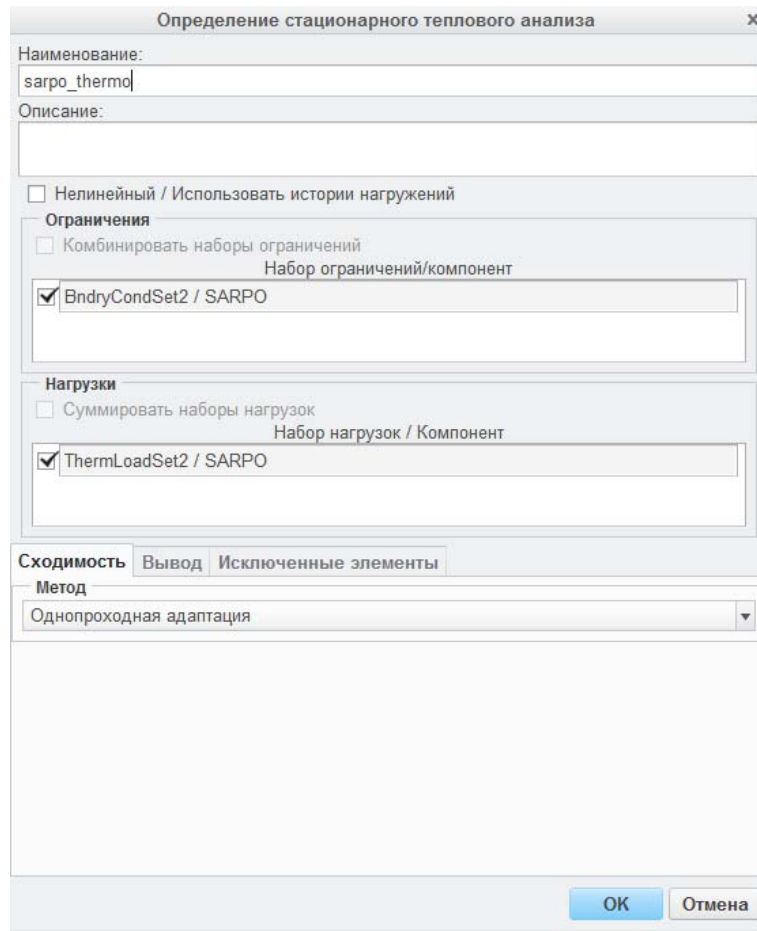


Рисунок 48

Запускаем расчет.

В результате расчета получаем распределение температур по модели:

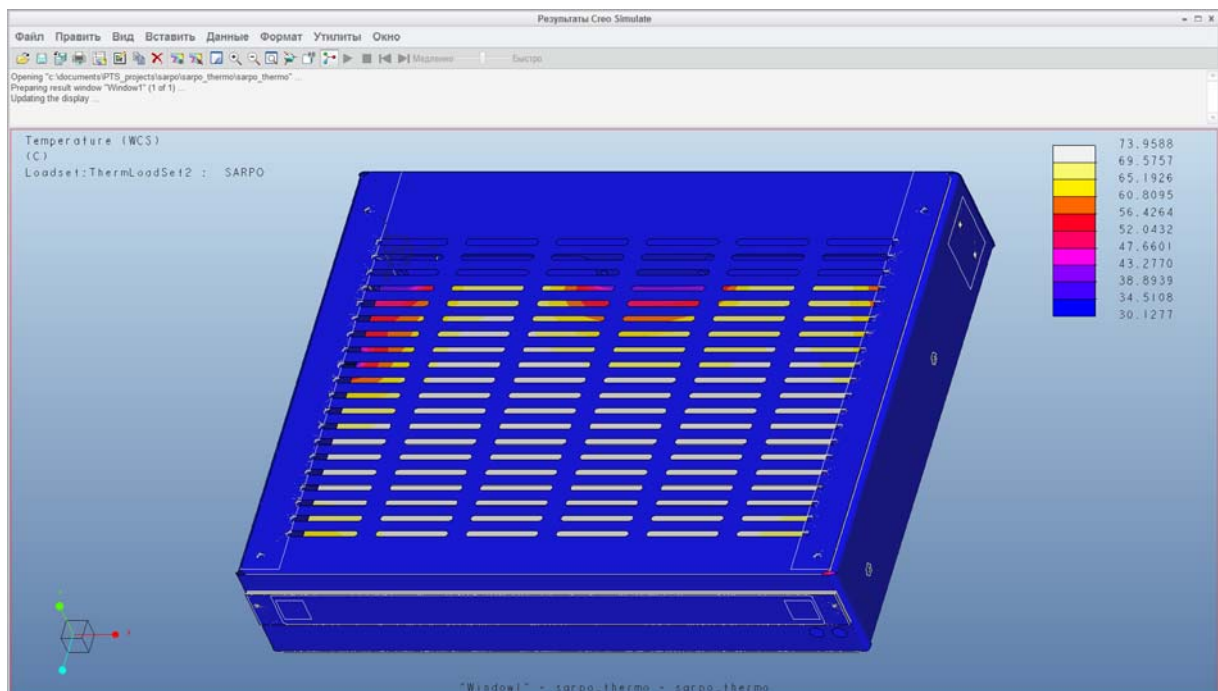


Рисунок 49

9. Использование результатов теплового анализа для расчета температурных деформаций

Для использования результатов теплового анализа в анализе прочности необходимо предварительно поставить и решить тепловую задачу в тепловом модуле. Затем осуществить переход в прочностной, вызвать меню «Нагрузки – Нагрузка Mech/T», указать, в какой набор эта нагрузка должна войти, а также указать опцию «Использовать результаты термального анализа», если нет необходимости каждый раз перезапускать температурный расчет. В дальнейшем расчет проводится аналогично разделу 3.

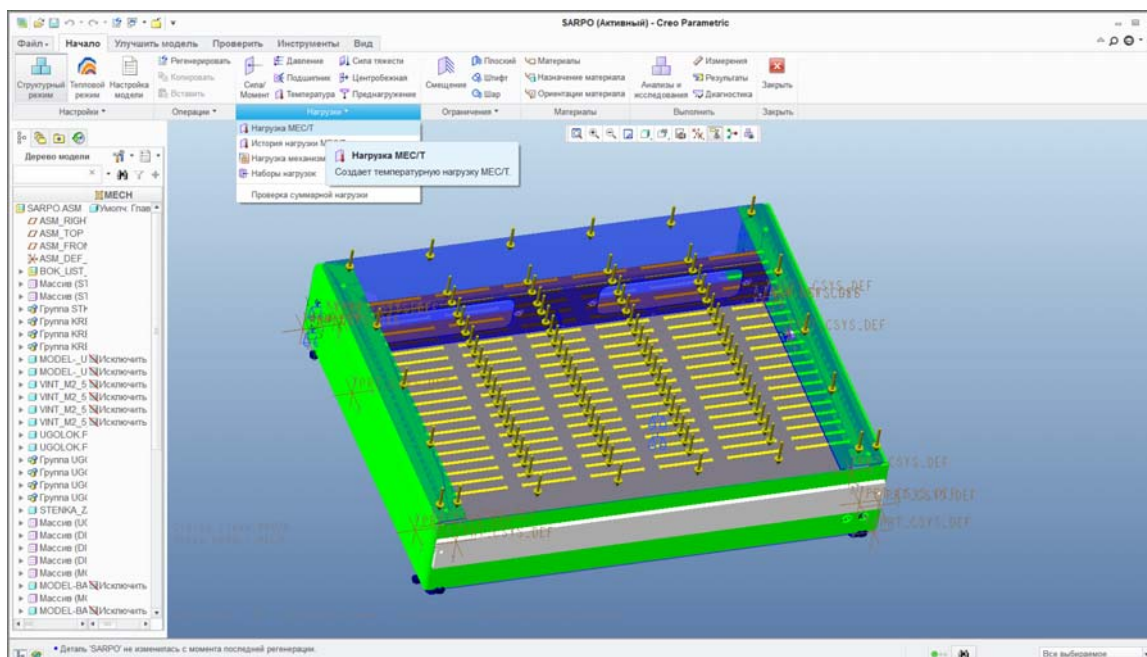


Рисунок 50

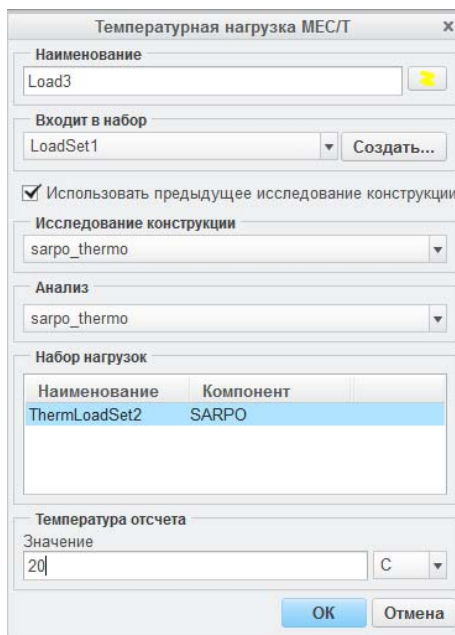


Рисунок 51

В качестве температуры отсчета берется начальная температура до включения прибора.

10. Моделирование биметаллических пластин

Сложность моделирование биметаллических пластин заключается в том, что, как правило, модель создается конструктором в режиме детали, а материалы нужно назначать разные. Также следует учитывать нелинейный характер поведения таких пластин. Поэтому необходимо использовать анализ «больших деформаций».

Рассмотрим один из приемов создания модели биметаллической пластины (рисунки демонстрируются для версии Creo/Elements Mechanical). Работа происходит в несколько этапов:

- создание вспомогательной сборочной единицы,
- создание пустых деталей по количеству слоев пластины,
- копирование геометрии исходной модели во вспомогательные,
- создание упрощенного представления для исключения исходной пластины.

Итак, имеется пластина:

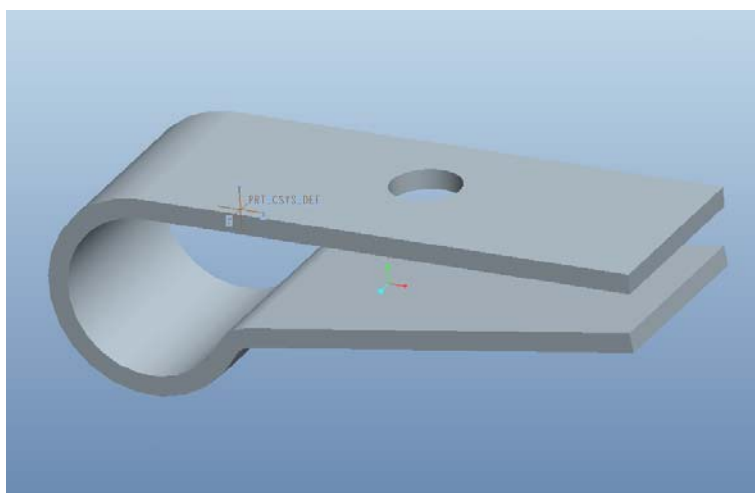


Рисунок 52

Создаем вспомогательную сборку и помещаем туда эту пластину, размещаем её «по умолчанию».

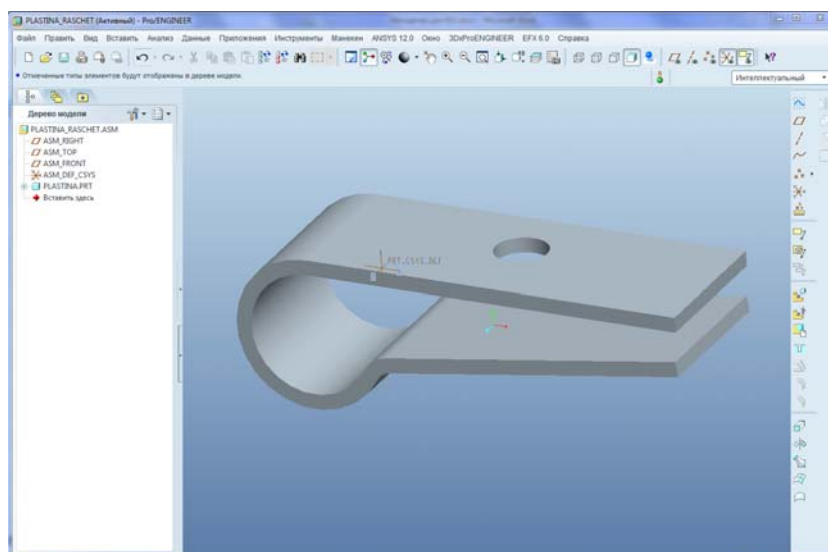


Рисунок 53

Создаем последовательно две пустых вспомогательных детали sloj1 и sloj2:

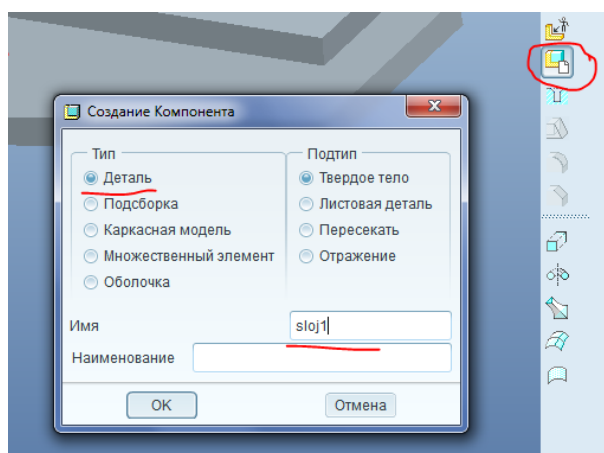


Рисунок 54

Активизируем деталь sloj1 (правая кнопка по имени детали в дереве команд – «Активизировать»). Выделяем аккуратно при нажатой клавише “Ctrl” все поверхности на одной стороне детали (сначала нужно щелкнуть по самой детали, затем появится возможность выделять её поверхности):

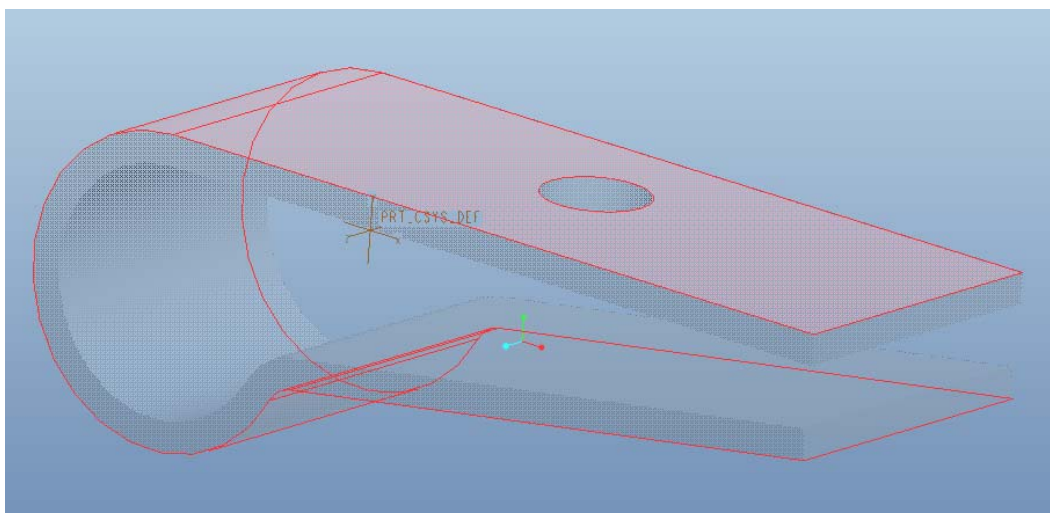


Рисунок 55

Затем применяем последовательно команды «Копировать», «Вставить» или комбинации клавиш «Ctrl+C», «Ctrl+V», подтверждаем команду, нажав «зеленую галочку». Геометрия будет скопирована в деталь sloj1.

Затем раскрываем содержимое детали sloj1 и помещаем курсор на команду «Копия1», затем меню «Править» – «Утолщить», проверяем направление создания материала и вводим толщину слоя.

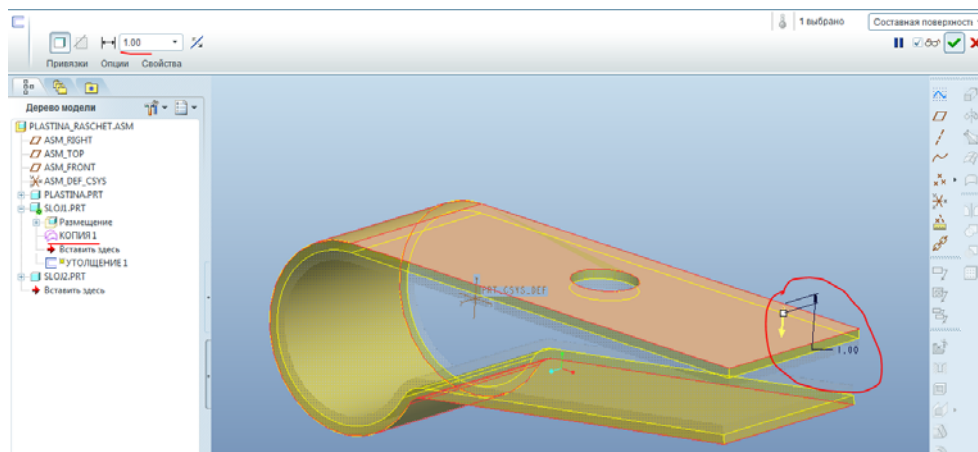


Рисунок 56

Утверждаем команду. Создание детали sloj1 завершено.

Теперь желательно скрыть исходную деталь, чтобы она не мешала созданию последующих слоев (правая кнопка мыши по детали в дереве команд – «Скрыть»).

Активизируем деталь sloj2. Теперь продельваем процедуру копирования геометрии еще раз, выделяя теперь уже соответствующие поверхности детали sloj1:

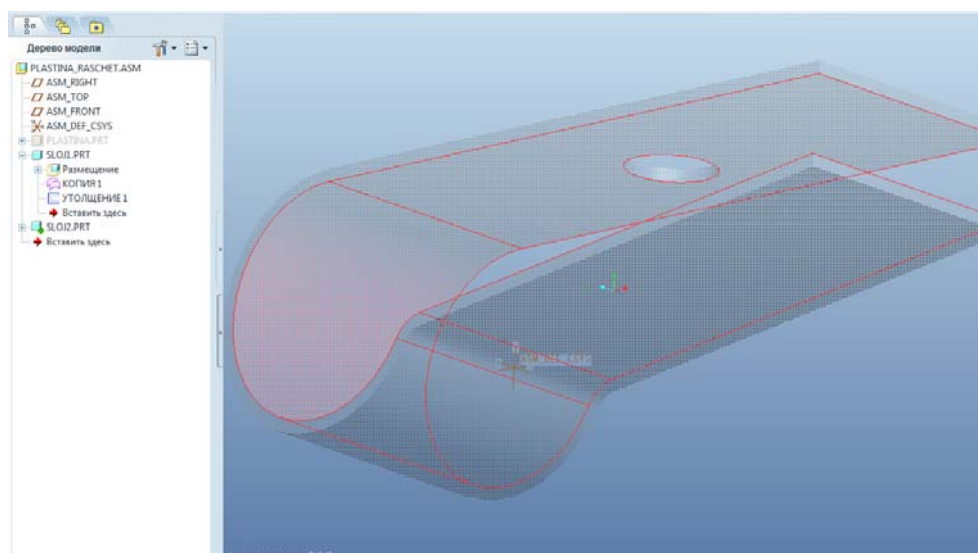


Рисунок 57

Затем опять операции «Копировать», «Вставить», «Править – Утолщить». Вводим толщину, проверяем направление:

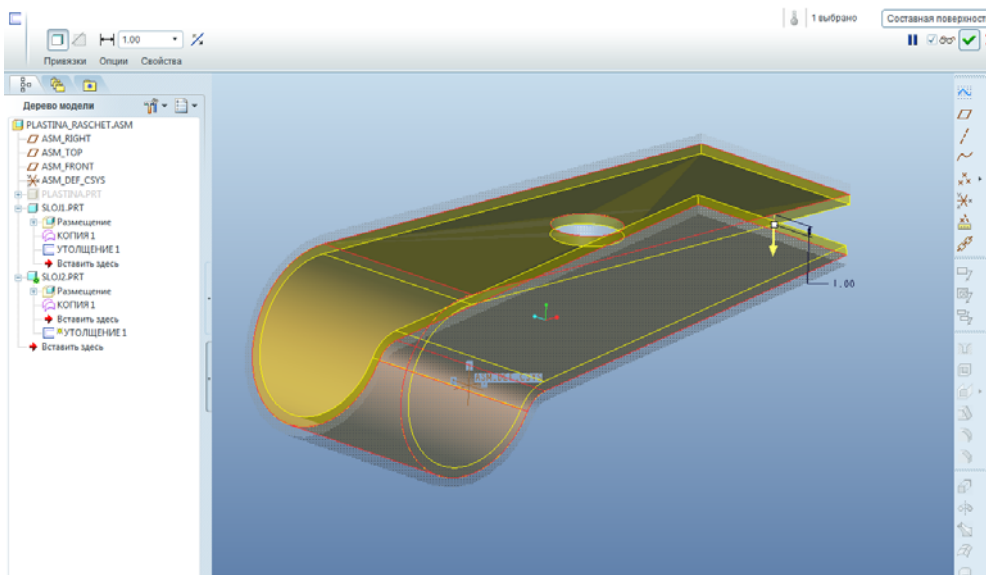


Рисунок 58

Утверждаем команду. Создание детали sloj2 закончено.

Активизируем главную сборку (plastina_raschet.asm – правая кнопка мыши – «Активизировать»).

Следующий шаг – создание упрощенного представления для исключения исходной детали, т.к. её геометрия пересекается со вспомогательными деталями. Упрощение происходит так, как показано в разделе 1. Простого сокрытия детали недостаточно:

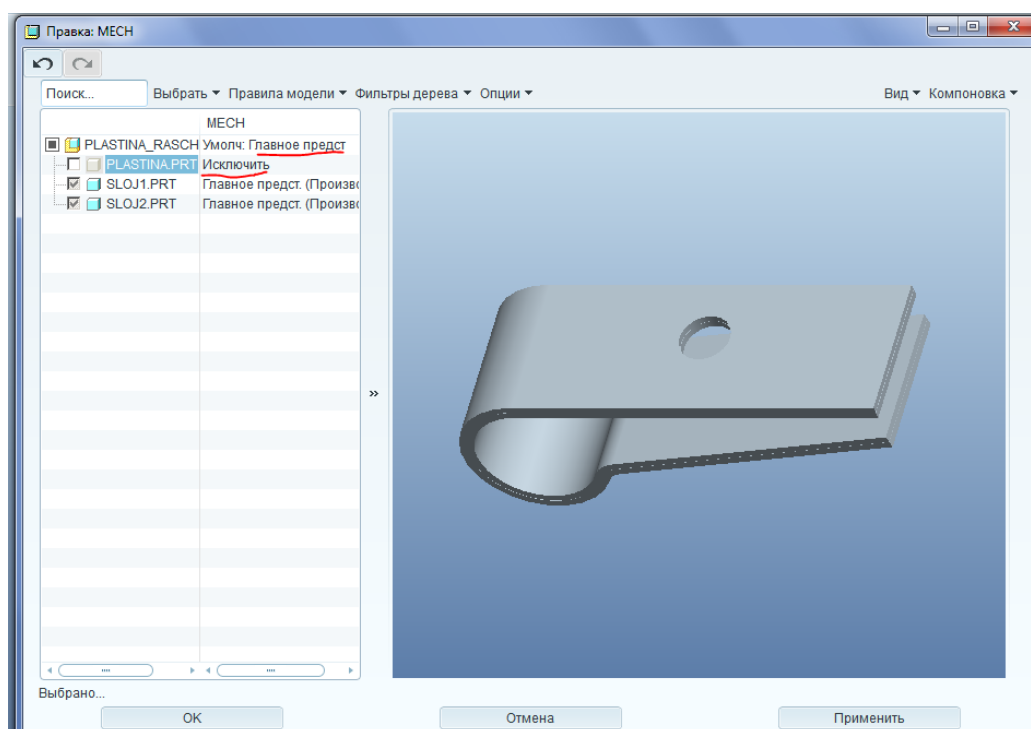


Рисунок 59

Модель к расчету готова. Переходим в модуль Creo/Simulate.

Рассмотрим следующий вариант: за одну из поверхностей пластину закрепляют, всю пластину нагревают с 20°C до 40°C.

Задаем разные материалы для деталей sloj1 и sloj2, закрепляем поверхность, вводим температурную нагрузку. Модель приобретает вид:

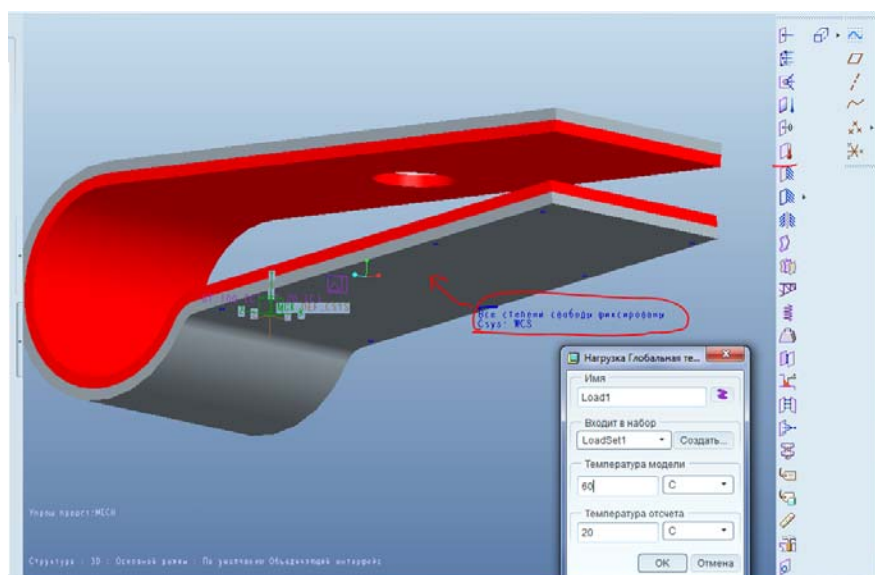


Рисунок 60

Создаем статический анализ. При этом включаем опции «Нелинейность», «Вычислять большие деформации». Эти опции включаются только при отсутствии пластинчатых и балочных идеализаций. Если таковые были, то все их необходимо либо подавить, либо удалить.

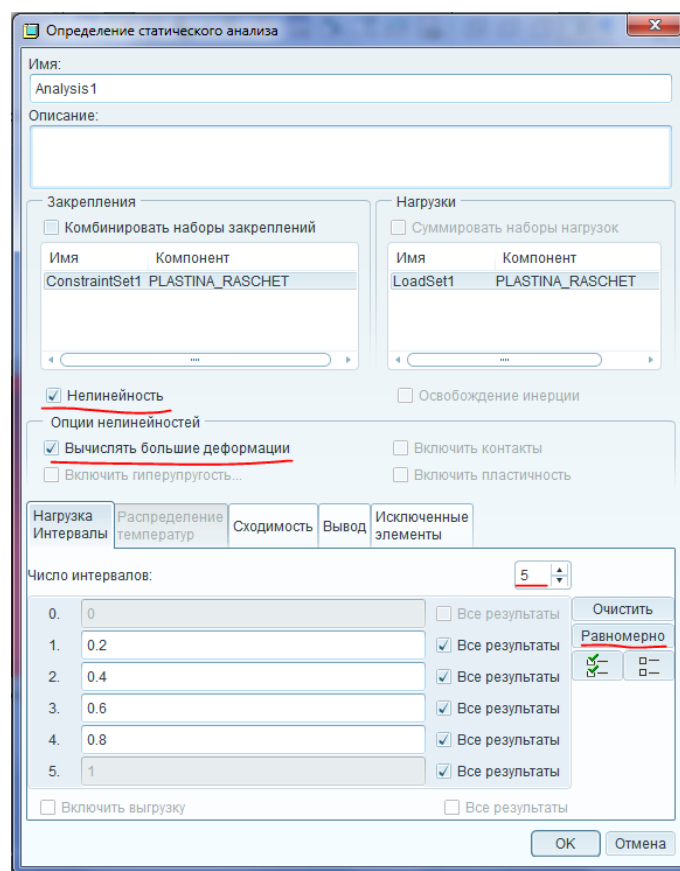


Рисунок 61

Рекомендуется ставить 3-5 шагов. Опции «Все результаты» позволяют получить промежуточные результаты на каждом шаге, однако это увеличивает время расчета. Без особой необходимости их лучше не включать.

Анализ создан. Перед запуском необходимо продумать систему измерителей и настроить опции анализа, т.к. сам расчет занимает продолжительное время.

Например, создадим измеритель, вычисляющий вертикальную деформацию пластины:

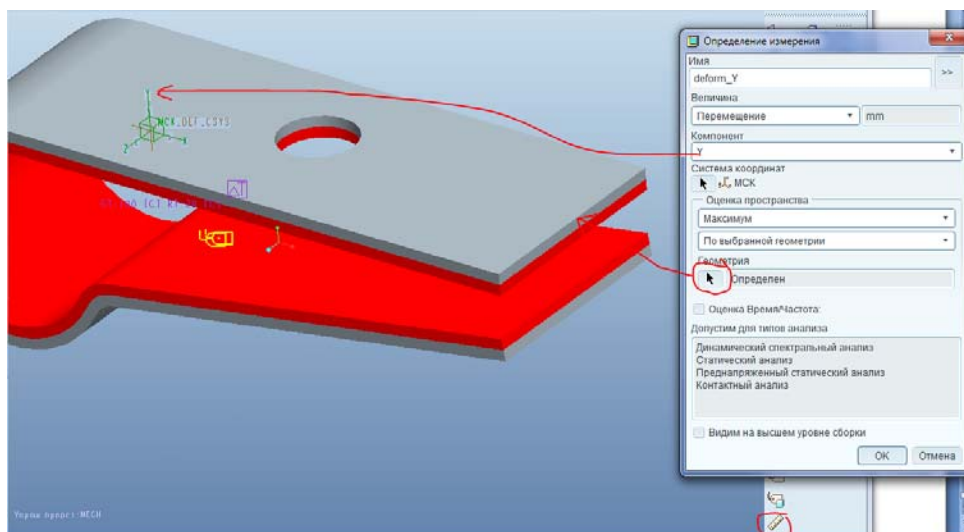


Рисунок 62

Проводится расчет, производится анализ. Принимаются решения по изменению конструкции, если это необходимо.

11. Список литературы

1. Буланов А., Шевченко О., Гусаров С. Wildfire 3.0. Первые шаги. – М.: Поматур, 2008. – 240 с.: ил.
2. Минеев М. Pro/Engineer Wildfire 2.0/3.0/4.0. Самоучитель. – М.: Наука и Техника, 2008. – 352 с.: ил.
3. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры: Учебник для вузов / К. И. Билибин, А. И. Власов, Л. В. Журавлева и др; Под общ. ред. В. А. Шахнова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2005. – 563 с.: ил.
4. Проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры: Учеб. пособие для вузов / Е.М. Парфенов, Э.Н. Камышная, В. П. Усачов – М.: Радио и связь, 1989 – 272 с.: ил.
5. Introduction to Finite Element Analysis Using Creo Simulation 1.0 / Randy Shih. – SDC Publications, 2011. – 424 p.
6. Creo Simulate Tutorial Releases 1.0 & 2.0 / Roger Toogood. – SDC Publications, 2012. – 296 p.
7. Creo Parametric und Creo Simulate / Thomas Ebel Manfred Vogel. – Hanser Fachbuchverlag, 2012.