

# **Механический расчет в SolidWorks Simulation**

Томск – 2022

## **Область применения**

Настоящие методические рекомендации устанавливают общие требования к выполнению механического расчета.

## **Нормативные ссылки**

В настоящих методических рекомендациях использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 57188–2016. Численное моделирование физических процессов. Термины и определения;

ГОСТ Р 57700.4–2017. Численное моделирование физических процессов. Термины и определения в областях механики сплошных сред: гидромеханика, газовая динамика;

ГОСТ Р 57700.7–2018. Численное моделирование физических процессов. Процессы ударного взаимодействия. Термины и определения;

ГОСТ Р 57700.10–2018. Численное моделирование физических процессов. Определение напряженно-деформированного состояния. Верификация и валидация численных моделей сложных элементов конструкций в упругой области;

ГОСТ Р 57700.14–2018. Численное моделирование физических процессов. Верификация получаемых сеточными методами численных решений задач механики сплошной среды.

## **Термины и определения**

В настоящих методических рекомендациях используются следующие термины и определения из государственных стандартов в области математического моделирования физических процессов.

1) Термины и определения ГОСТ Р 57188–2016:

**математическая модель:** модель, в которой сведения об объекте моделирования представлены в виде математических символов и выражений;

**итерация:** математическая операция, повторяемая многократно, при этом результат одной операции используется для выполнения последующей операции;

**сеточная независимость решения:** характеристика чувствительности решения задачи математического моделирования, получаемого сеточным (разностным) методом, к изменению размерности сетки (изменению значений интервалов, на которые разбита при решении рассматриваемая область);

**алгоритм:** последовательность действий (операций);

**имитационная модель:** частный случай математической модели процесса, явления, который представляет процесс с определенной точностью;

**математическое моделирование:** исследование каких-либо явлений, процессов или систем объектов путем построения, применения и изучения их математических моделей;

**валидация математической модели:** подтверждение адекватности математической модели моделируемому объекту;

**граничные условия:** условия, накладываемые на рассчитываемые искомые величины на границах расчетной области;

**начальные условия:** условия, накладываемые на рассчитываемые искомые величины внутри расчетной области на начальный момент времени моделирования;

**сетка конечных элементов:** сплошное покрытие области расчета элементарными объемами, имеющими достаточно простую геометрическую форму (например: тетраэдрами, гексаэдрами и т. д.);

**корректно поставленная задача:** задача определения решения по исходным данным, для которой выполнены следующие условия (условия корректности): 1) задача имеет решение при любых допустимых исходных данных (существование решения); 2) каждым исходным данным

соответствует только одно решение (однозначность задачи); 3) решение устойчиво;

**некорректно поставленная задача:** задача, для которой не удовлетворяется хотя бы одно из условий, характеризующих корректно поставленную задачу;

**метод конечных элементов:** сеточный метод численного решения задач математической физики, в котором дискретизация исходных краевых задач производится на основе вариационных или проекционных методов при использовании специальных конечномерных подпространств функций, определяемых выбранной сеткой;

**область расчета:** область, в которой определена аппроксимация уравнений математической модели;

**конечный элемент:** элемент, имеющий конечные размеры, на которые разбивается область, в которой ищется численное решение поставленной задачи математического моделирования;

**статистическое моделирование:** вид компьютерного моделирования, позволяющий получить статистические данные о процессах в моделируемой системе.

2) Термины и определения ГОСТ Р 57700.4–2017:

**течение:** движение континуума жидких частиц;

**динамика сплошной среды:** уравнения, соотношения и параметры, относящиеся к движению среды под действием сил;

**температура:** характеристика средней энергии атомов и молекул при равенстве температур всех степеней свободы в термодинамической системе;

**теплоемкость:** количество проводимого извне тепла, необходимое для повышения температуры единичной массы вещества на один градус;

**термодинамика процесса:** условия протекания процесса, ограничивающие или связывающие изменение параметров состояния;

**адиабатический процесс:** процесс с нулевым внешним притоком энергии;

**изотермический процесс:** процесс при постоянной температуре;

**радиационный поток:** энергия излучения, прошедшая через контрольную поверхность за единицу времени;

**процессы переноса:** необратимые процессы, обусловленные обменом массы, импульса и энергии между жидкими частицами с внешними телами и поверхностями;

**диффузия:** выравнивание концентрации компонента путем молекулярного переноса вещества, обусловленного отличием скорости различных компонент от скорости жидкой частицы;

**теплопроводность:** передача тепла, обусловленная градиентом температуры в среде или разностью температур среды и граничащего с ней тела;

**коэффициент теплопроводности:** коэффициент пропорциональности в законе теплопроводности Фурье;

**граничные условия:** алгебраические и дифференциальные соотношения на границе исследуемой области движения жидкости или газа;

**число Маха:** отношение скорости среды к местной скорости звука;

**ламинарное течение:** течение вязкой жидкости или газа без флуктуаций параметров;

**развитое турбулентное течение:** трехмерное нестационарное движение вязкой среды с флуктуацией параметров, указывающей на наличие в потоке разномасштабных структур – турбулентных вихрей.

3) Термины и определения ГОСТ Р 57700.7–2018:

**деформируемое твердое тело:** физическое тело, способное к деформации, то есть тело, способное изменить свою форму, внутреннюю структуру, объем, площадь поверхности под действием внешних сил.

4) Термины и определения ГОСТ Р 57700.10–2018:

**анализ результатов:** любая последующая обработка или интерпретация отдельных результатов или наборов результатов, полученных при моделировании;

**достоверность:** качество, характеризующее доверие или убежденность в результатах расчета моделирования;

**нагрузки:** заданные силовые, кинематические и смешанные функции, действующие на модель и обусловленные условиями работы;

**напряженно-деформированное состояние:** множество действующих в каждой точке конструкции напряжений и деформаций в фиксируемый момент времени, возникающих из-за приложения к конструкции внешних воздействий (в том числе неравномерного поля температур);

**расчетная модель:** конечно-элементная модель со всеми приложенными нагрузками, граничными условиями и характеристиками материалов;

**решатель:** программный модуль, реализующий одним численным методом решение математических уравнений, соответствующих одной концептуальной модели явления;

**твердотельная модель:** трехмерная электронная геометрическая модель, представляющая форму изделия как результат композиции заданного множества геометрических элементов с применением операций булевой алгебры к этим геометрическим элементам;

**точность:** оценка разницы между параметром (полученным значением), набором параметров (полученных значений) в рамках расчета, моделирования, эксперимента и истинным значением или предполагаемым истинным значением. Чем меньше указанная разница, тем выше точность.

##### 5) Термины и определения ГОСТ Р 57700.14–2018:

**область моделирования (расчетная область):** прообраз области действительного физического пространства, в котором вводится определенная система координат для описания точек области набором вещественных чисел, называемых координатами точек пространства. Предполагается, что область моделирования или часть ее подобластей заполнены сплошной средой, описываемой определенной замкнутой системой уравнений;

**расчетная (вычислительная) сетка:** конечное дискретное множество соединенных между собой точек пространства, заменяющее собой область непрерывного изменения аргументов для параметров сплошной среды (дискретизация области моделирования). Точки множества называются узлами сетки;

**уменьшение шагов сетки в области моделирования:** перестроение сетки (переход к другому множеству точек пространства), при котором для любой точки моделируемой области объем сеточного элемента пространства, содержащего эту точку, не возрастает, и существует подобласть моделируемой области, для точек которой объемы сеточных элементов пространства уменьшаются;

**стационарная/нестационарная задача:** задача моделирования явлений и процессов, не зависящих/зависящих от времени;

**шаг по времени (шаг интегрирования):** интервал времени, используемый в численных методах для определения решения задачи на последующем временном слое при условии, что решение задачи (или начальные условия) на текущем временном слое известно;

**сходимость численного решения по шагам сетки и времени:** сходимость (стремление) по некоторой норме численного решения дискретной задачи на любом временном слое из моделируемого интервала времени к точному или приближенному решению исходной нестационарной задачи при уменьшении шагов сетки и по времени;

**допустимая погрешность решения задачи:** величина погрешности решения уравнений, являющаяся удовлетворительной для преследуемых целей задачи. Величина допустимой погрешности определяется требуемой точностью решения задачи;

**критерий сходимости решения задачи:** условие, выполнение которого свидетельствует о сходимости. Численное решение исходной задачи считается сошедшимся по шагу сетки (и по временному шагу – для нестационарной задачи), если параметры контроля сходимости решения при

любом дальнейшем уменьшении шага сетки (и шага по времени) остаются в пределах интервала заданной допустимой погрешности.

## **Требования технического задания на проведение механического расчета**

### **Требования к геометрической модели**

К созданию геометрической модели для механического расчета предъявляются следующие требования:

- размеры и наименования деталей должны соответствовать чертежам по общероссийскому классификатору предприятий и организаций (ОКПО) (наименование в формате «Название\_детали номер\_ОКПО»), сборки (итоговая и промежуточные) должны соответствовать альбому чертежей;

- эскизы должны быть полностью определены (не допускается наличие синих линий) и привязаны к начальной точке системы координат;

- сборка должна быть привязана к начальной точке системы координат;

- плоскости системы координат зафиксированной детали/сборки должны быть параллельны плоскостям системы координат итоговой сборки, если в техническом задании (ТЗ) не указано иное;

- направления осей координат сборки должны соответствовать указанным в ТЗ;

- количество сопряжений в сборке должно быть оптимальным;

- сопряжения типа «точка-точка», «точка-кромка», «точка-грань», «кромка-кромка» и «кромка-грань» не допускаются;

- лишние фаски (на контакте трех деталей, т. е. создающие небольшую полость без условий течения) и небольшие скругления (до 1 мм) должны быть удалены;

- диаметры сопряженных отверстий должны быть приведены к единому значению;

– количество операций при создании деталей должно быть наименьшим, и они должны быть простыми.

### **Требования к входным данным**

В ТЗ на проведение механического расчета должны быть приведены следующие данные:

– список всех деталей сборки с указанием наименования согласно альбому чертежей, массы (как отдельных деталей, так и прибора в целом), материала и его механических свойств: плотности, модуля упругости, коэффициента Пуассона, предела прочности, предела текучести;

– перечень внешних возмущающих воздействий на прибор (квазистатическое, гармоническое, широкополосная случайная вибрация, удар) с указанием уровня, длительности, поддиапазона частот каждого типа механического воздействия по каждой из трех взаимно перпендикулярных осей;

– значения резонансных частот на конструктивных элементах и узлах при наличии требования об их отсутствии;

– частота вращения подвижных частей прибора при их работе во время механических испытаний;

– все возможные точки (плоскости) крепления прибора, в том числе при подключении к нему воздушных патрубков;

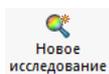
– схемы расположения и наименование амортизатора с указанием динамической жесткости и свободного хода (в осевом и радиальном направлениях) при установке прибора на амортизирующих устройствах.

## Порядок проведения механического расчета

### Статический анализ

Создать проект механического расчета. Для этого:

- во вкладке Simulation на панели инструментов нажать кнопку



. В появившемся окне выбрать пункт «Статический анализ», указать название проекта (рисунок 1). Удобно называть проект по отличительным признакам в соответствии с ТЗ, например по типу и оси воздействия;

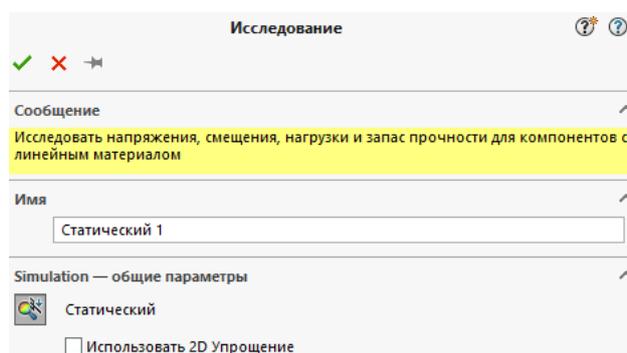


Рисунок 1

- на дереве исследования щелкнуть левой кнопкой мыши по строке «Детали». В раскрывшемся списке деталей заново присвоить каждой из них материал, так как в работе программы могут быть ошибки;
- на дереве исследования щелкнуть левой кнопкой мыши по строке «Соединения». В раскрывшемся списке щелкнуть правой кнопкой мыши по строке «Контакты компонентов», в контекстном меню выбрать пункт «Глобальный контакт». Если в модели присутствуют крепежные детали (винты), то следует разбить сборку на необходимое количество компонентов и для каждого из них задать соединения, а затем задать область соединения крепежных изделий. Для этого щелкнуть правой кнопкой мыши по строке «Соединения» и в контекстном меню выбрать пункт «Набор контактов»;
- задать условия крепления в отверстиях или на посадочных плоскостях, соответствующих креплению блока УДМ на космический аппарат. Для этого на дереве исследования щелкнуть правой кнопкой мыши по строке «Крепления», в контекстном меню выбрать пункт

«Зафиксированная геометрия». В открывшемся диалоговом окне нажать кнопку  и в поле  задать грани, кромки или вершины для крепления;

– если на плате устанавливаются электрорадиоизделия, но в ходе подготовки расчетной модели они были исключены из анализа с целью экономии элементов сетки, на дереве исследования щелкнуть правой кнопкой мыши по строке «Внешние нагрузки», в контекстном меню выбрать пункт «Распределенная масса» и в открывшемся диалоговом окне в поле  задать грани распределения массы;

– на дереве исследования щелкнуть правой кнопкой мыши по строке «Внешние нагрузки», в контекстном меню выбрать пункт «Сила тяжести» и в открывшемся диалоговом окне в поле  задать грань, кромку или плоскость направления силы тяжести;

– на дереве исследования щелкнуть правой кнопкой мыши по строке «Имя исследования (По умолчанию)», в контекстном меню выбрать пункт «Свойства». В открывшемся диалоговом окне (рисунок 2) в группе «Несовместимые параметры связи» установить переключатель «Авто», в группе «Решающая программа» установить флаг «Автоматический выбор решающей программы»;

– создать конечно-элементную модель. Для этого в дереве исследования щелкнуть правой кнопкой мыши по строке «Сетка», в контекстном меню выбрать пункт «Создать сетку». В открывшемся окне установить флажок «Параметры сетки» и переключатель «Стандартная сетка». При необходимости уменьшения размера конечно-элементной модели на сложных участках щелкнуть правой кнопкой мыши по строке «Сетка» и в контекстном меню выбрать пункт «Применить элемент управления сеткой»;

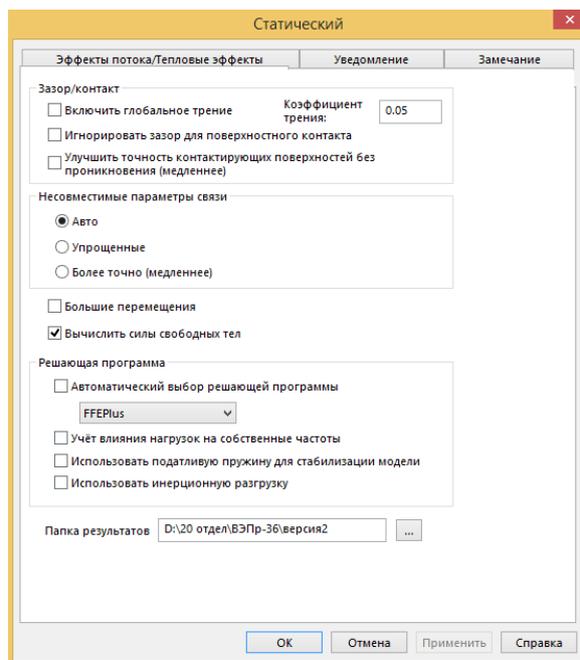


Рисунок 2

– проверить качество сетки с помощью якобиана. Для этого на дереве исследования щелкнуть правой кнопкой мыши по строке «Сетка», в контекстном меню выбрать пункт «Создать эпюру качества сетки». В открывшемся окне во вкладке «Определение» установить переключатель «Якобиан». В результате значение якобиана не должно превышать 30;

– на дереве исследования щелкнуть правой кнопкой мыши по строке «Имя исследования (По умолчанию)», в контекстном меню выбрать пункт «Запустить это исследование». Откроется окно выполнения механического расчета;

– по окончании расчета на дереве исследования щелкнуть правой кнопкой мыши по появившейся строке «Результаты», в контекстном меню выбрать пункт «Консультант по результатам».