$\rangle\rangle\rangle$

Инженерный анализ в CAПP SolidWorks (базовый курс)

Казань 2011

Цель занятия: изучение и практическое освоение основ инженерного анализа в САПР SolidWorks для прочностного анализа изделий.

Получаемые навыки:

- задание для деталей и сборок материалов, граничных условий, создание расчетной сетки и обработка результатов исследования;

- проведение прочностного анализа твердотельных и поверхностных деталей и сборок, сварных и болтовых соединений, подшипников и балок;

- проведение оценочных и оптимизационных исследований.

Требования к уровню знаний слушателей.

- знание OC Windows;
- опыт создания моделей в SolidWorks;
- желательны знания основ теории прочности.

Понятие о САЕ-системах

САЕ (англ. Computer-aided engineering) — общее название для программ, предназначенных для инженерных расчётов конструкций и анализа физических процессов, связанных с ними.

С помощью САЕ-систем можно решать два типа задач:

- > Разработка новых конструкций.
- > Проверка существующей конструкции.

САЕ-системы могут применяться совместно с САD-системами. Одной из таких CAD-систем является **SolidWorks** со встроенными CAEмодулями.

SolidWorks Simulation – САЕ-модуль, основанный на методе конечных элементов и предназначенный для проведения прочностного анализа.

Метод конечных элементов (МКЭ)

МКЭ – численный метод решения дифференциальных уравнений с частными производными, а также интегральных уравнений, возникающих при решении задач прикладной физики.

Суть *МКЭ* заключается в том, что исследуемая область разбивается на конечные элементы, в каждом из элементов произвольно выбирается вид аппроксимирующей функции и затем находятся значения этих функций на границах элементов.

Процесс деления модели на малые части – созданием сетки.





Размер элементов можно менять, уменьшая его вблизи интересующей области, и увеличивая — для снижения затрат процессорного времени

1. Анализ твердотельной модели, настройка модуля SolidWorks Simulation и основы работы



В качестве модели используется кронштейн, изготовленный из легированной стали, зафиксированный в двух отверстиях и к которому приложено равномерно распределенное давление 400 psi (фунт/кв. дюйм) **Цель работы**: изучить основные функциональные возможности модуля Simulation на примере статического анализа детали.

Задачи, которые необходимо решить для этого:

1) создать статическое исследование;

2) назначить материал детали;

3) задать граничные условия (ограничения и силы);

4) создать сетку с определенными параметрами;

5) запустить исследование;

6) построить эпюры напряжений, перемещений, деформаций и коэффициента запаса прочности;
7) создать отчет исследования.

Интерфейс и взаимодействие модуля с SolidWorks

Активация модуля SolidWorks Simulation

До	бавления	×
A	активные Добавления	Запуск
	∃ Добавления SolidWorks Office Premi	ium
	🛯 🌺 3D Instant Website	
	🗌 🏟 CircuitWorks	
E	🛾 🚰 FeatureWorks	
E	🛛 🥯 PhotoView 360	
E	ScanTo3D	
E	🛛 🕰 SolidWorks Design Checker	
E	🛛 🔗 SolidWorks Motion	
2	SolidWorks Routing	
	🛛 🚺 SolidWorks Simulation	
E	SolidWorks Toolbox	
	🗏 🕎 SolidWorks Toolbox Browser	
	og SolidWorks Utilities	
	SolidWorks Workgroup PDM 2011	
E	TolAnalyst	
6	∃ Добавления SolidWorks	
E	Autotrace	
	SolidWorks 2D Emulator	
1	SolidWorks Flow Simulation 2011	
	SolidWorks MTS	
E	SolidWorks XPS Driver	
	ОК Отмена	11

Активировать модуль SolidWorks Simulation можно в меню Инструменты — Добавления

После активации модуля

- в меню добавляется пункт Simulation;
- на панели инструментов появляется вкладка Simulation;
- ✓ в менеджере проекта SolidWorks появляется вкладка с пиктограммой продукта.

Виды исследований

В Simulation для одной и той же геометрической модели могут быть поставлены



• Расчёт сосудов высокого давления

Новое исследование можно создать либо щелкнув по стрелке пиктограммы Консультант исследования на панели инструментов и выбрав пункт Новое исследование, либо выбрав этот пункт в меню Simulation.



После создания исследования в нижней части окна SolidWorks появится вкладка с названием исследования

Модель | Motion Study 1 🛛 💥 Исследование 1



Запись результатов исследования

Все данные об исследовании записываются в модель SolidWorks и в отдельные файлы, в рабочий каталог Simulation.

Чтобы изменить расположение рабочего каталога нужно пройти в меню Simulation → Параметры → Настройки по умолчанию → Результаты, в разделе Папка результатов выбрать пункт Настроенная пользователем и указать путь для сохранения.

> 23 Настройки по умолчанию - Результаты ела Настройки по умолча Настройки пользов Решающая програмяка по умолчанию Единицы измерения Автоматическая Нагрузка/крепление Oirect sparse Результаты FFEPlus Папка результатов Схема цветов Эпюры по умолчанию Папка документов SolidWorks Результаты статического исследован 🖪 Эпюра1 Настроенная пользователем Эпюра2 С ЭпюраЗ e: Viles/solidworks/nporpaveva/peogratater Обзор папок Q Результаты исследования по частота ять временные файлы базы Результаты термического исследова: Чтобы изменить папку результатов существующего 🐚 Эпюра1 исследования, надо изменить параметр в разделе Свойства исследования ФРезультаты испытания на ударную н Выберите каталог файла результата Эпюра1 Папка отчетов А 🏭 Локальный диох (С:) С Эпюра2 Downloads Сьдонов 🐴 Fluent.Inc ФРезультаты исследования на усталос afx в Эпюра1 in 3пюра2 logs 94 Результаты исследования на оптими: MSOCache Результаты нелинейного исследован. » NVIDIA Эпюра1 Резереные модели для параметра Восстановить PerfLogs С Эпюра2 MODE/IN DO HTEO MUM pics 🔥 ЭпюраЗ CREARWAR O DOGLADORATEOR Orver OK Отнена Отмена Справка... 0K

Чтобы перенести результаты расчёта с одного компьютера на другой нужно скопировать модель, рабочие файлы и файлы с результатами.

Системы координат и справочная геометрия

В Simulation функциональностью обладают все элементы SolidWorks. Это элементы моделей, такие как вершины, кромки, грани, а также справочная геометрия: оси, плоскости, системы координат. К первым прикладываются граничные условия, относительно вторых ориентируются силы и перемещения.



Единицы измерения

Задание материала

Задать материал можно следующими способами:

- вызовом функции **Применить материал** на *панели инструментов* Simulation;

- в *менеджере проекта* вызвав на пиктограмме материала з ПКМ контекстное меню и выбрав пункт **Редактировать материал**. В результате откроется окно **Материалы**.

SolidWorks DIN Materials	Свойства	Таблицы	и кривые	Внешний вид	Штриховк	а Настройка	Данные п	4.
solidworks materials	Свойсти	ва материал	na					
Сталь	Матер	малы в биб	лиотеке п	ю умолчанию н	е могут ред	актироваться.	Необходим	0 OK
—3 1023 Листовая углеродистая сталь (SS	матер	иал в настр	юенную п	ользователен б	мблиотеку	и затем его отр	едактиров	ать.
—3 201 Отожженная нержавеющая сталь	Тип н	Тип модели: Линейный упругий		ый упругий изот	изотропны 🕶			
А286 Суперсплав на основе железа	Едирована С		(at 144.02 (Da)					
AISI 1010 Сталь, горяченакатанная по	измер	измерения: Категория:		Сталь				
-З= AISI 1015 Сталь, холоднотянутая (SS)	Kater							
-3= AISI 1020	Vieg-							
AISI 1020 CTARE, XOROGHOKATAHAR	Контерий		легиро	ванная сталь				
AISI 1035 CTARE (SS)		разрушения по		Макоимальное напряжение vc 👻				
За АСТ 204	<u>унолчанию:</u> Описание:				/			
	0195.0	2019-142-2	L					
ALSI 316 Herry alleguing crants purch (S	Источ	R94K1						
S AISI 321 OTOXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX							_	
S = AISI 347 Отокскенная нержавеющая с	Susta	napety:	Onpeace	лено				
= AISI 4130 Сталь, отожженная при 8650							-	_
= AISI 4130 Сталь, нормализованная при	Свойсти				Значение	Единицы изме	рения	^
= AISI 4340 Сталь, отожженная	АISI 4340 Сталь, отожженная АISI 4340 Сталь, норнализованная АISI 4340 Сталь, норнализованная АISI Тип 316L нержавеющая сталь Потность Предеп прочности при растяжении Предеп прочности при скатии в Х			2.1e+011	Н/м*2			
E AISI 4340 Сталь, нормализованная			сона		7.9+010	Нама	,	
E AISI Тип 316L нержавеющая сталь				7700	kr/m*3 5600 H/m*2		÷.	
ST LIST THE AZ VINCIDING TO HAR CTARE			окении	723825600			E	
Пегированная сталь			и в Х		H/m*2			
	Предел	Предел текучести			620422000	Н/м*2		
3 ASTM АЗ6 Сталь	Коэффи	Коэффициент теплового расширения		ширения	1.3e-005	/K		
Литая легированная сталь	Tergonp	Те сопроводность			50	W/(M·K)		
	Удель	а теплоем	кость		460	J/(KT·K)		-
литая углеродистая сталь		THE PARTY OF MAL	THE REAL PROPERTY AND	ALL DESCRIPTION OF THE PARTY OF		THE COMPANY NUMBER		



В левой части окна представлен необходимый минимум материалов, входящих в библиотеку Simulation

При нажатии ЛКМ на названии материала в правой части окна отображаются его свойства

В левой части окна выбираем Материал→ solidworks materials→Сталь→ Легированная сталь.

Задание граничных условий

В Simulation граничные условия прилагаются к элементам геометрии (плоскости, кромки, вершины) и не могут быть отдельно приложены к узлам или граням конечных элементов.

При создании исследования, программа создает папки **Крепления** и **Внешние** нагрузки в *дереве исследования* Simulation и добавляет в них элементы для каждого ограничения или нагрузки определенной к одному или нескольким объектам.

Доступные типы нагрузок и ограничений зависят от типа исследования. Получить доступ к *менеджеру свойств* задания креплений и нагрузок можно несколькими способами:

Исследование 1 (-По умолчанию-)
• Исследование 1 (-По умолчанию-)

f Крепления 🛃 Внешние нагруз

🕒 Результаты

a Cetr

- ▶ в меню Simulation → Нагрузки/Крепления
- в дереве исследования щелчком ПКМ на папку Крепления или Внешние нагрузки
- в панели инструментов выбором по стрелке Консультант по креплениям или Консультант по внешним нагрузкам



Закрепление детали

- В Дереве исследования Simulation нажимаем ПКМ на Креплени и в контекстном меню выбираем пункт Зафиксированная геометрия. В результате появится Менеджер свойств Крепление.
- В графической области выбираем поверхности двух отверстий. После этого в Менеджере свойств Крепление в поле Грани, Кромки, Вершины для крепления отобразятся выбранные Грань<1> и Грань<2>.
- ≻ Нажимаем ОК ✓.



Приложение нагрузки к детали

- В Дереве исследования Simulation нажимаем ПКМ на Внешние нагрузки 🚇 и в контекстном меню выбираем пункт Давление 🛄 В результате появится Менеджер свойств Давление.
- На вкладке Тип в разделе Тип выбираем Перпендикулярно выбранной грани.
- В графической области выбираем поверхность параллельную осям двух отверстий. После этого в Менеджере свойств Давление в поле Грани для давления выбранная грань.
- ≻ Нажимаем ОК ✓



Работа с сеткой

Сетки используемые в SolidWorks Simulation

Сетки могут быть *пространственные, оболочечные, балочные* и *специальные*.

Пространственные элементы, применяют для объёмных тел и образуют сетку с тетраэдральными твердотельными элементами для каждого твердого тела и бывают двух типов:



Оболочечные элементы, применяют для тонкостенных деталей (из листового металла) и образуют сетку с треугольными элементами и бывают также двух типов:





Программа автоматически создает сетку с **оболочечными** элементами для:

- листовых металлов с равномерной толщиной за исключением исследований на ударную нагрузку, причём сетка создается на серединной поверхности;
- поверхностей.



Серединная поверхность оболочки (показана штрихпунктирной линией)

Балочные элементы применяются для моделей созданных движением постоянного поперечного сечения по некоторой траектории, и определяется двумя конечными точками и поперечным сечением.



Комбинированная сетка автоматически применяется, когда в модели присутствуют различные геометрические формы.

Создание сетки

Сетка создается с помощью *менеджера свойств* Сетка,который запускается несколькими способами:

- в Дереве исследования щелчком ПКМ на надписи Сетка выбором в контекстном меню пункта Создать сетку
- \blacktriangleright в меню Simulation \rightarrow Сетка \rightarrow Создать
- в панели инструментов выбором Запуск Создание сетки вы
- В разделе Параметры сетки выбрать Стандартная сетка, Глобальный размер и Допуск будут вычислены программой;
- В разделе Дополнительно для проверки Якобиана установить 4 точки, выбрать Автоматические попытки для твердых тел и задать Число проб равным 3.
- Нажимаем ОК 🗹.

Создание с	етки: Скругление1	
	32.0%	
Использов	ание памяти:213,564К	
Прошло вре	емени:3s	
Идет созда	ние сетки твердых тел	
	Отмена	





Качество сетки

Двумя основными факторами, влияющими на качество сетки, а, следовательно, и на точность решения являются **редкая сетка** в зонах с большим градиентом параметров и слишком **искривлённая форма конечных элементов**.





сильно искривленныи тетраэдральный элемент

Подробную информацию о созданной сетке можно узнать, щелкнув ПКМ в *дереве исследования* Simulation на надпись Сетка и выбрав в контекстном меню пункт Подробные сведения. В результате появится окно Сетка Детализация.



Сетка Детализация	-≍ ×
Имя исследования	Исследование 2 (-По умолчанию-)
Тип сетки	Сетка на твердом теле
Используемое разбиение	Стандартная сетка
Автоматическое уплотнение сетки	Выкл
Включить автоциклы сетки	Вкл
Точки Якобиана	4 точек
Размер элемента	7.03879 mm
Допуск	0.351939 mm
Качество сетки	Высокая
Всего узлов	13911
Всего элементов	8093
Максимальное соотношение сторон	3.2776
Процент элементов с соотношением сторон < 3	99.9
Процент элементов с соотношением сторон > 10	0
% искаженных элементов (якобиан)	0
Время для завершения сетки (hh:mm:ss)	00:00:05
Имя компьютера	MICHAEL

Управление сеткой

Следствием неправильной формы конечных может стать расходимость решения. В этом случае применяют локальное уплотнение сетки в **автоматическом** или **ручном** режиме.

Для того чтобы активизировать *автоматическое* уплотнение сетки в меню Simulation → Параметры на вкладке Настройки по умолчанию выбираем раздел Сетка и ставим галочку напротив надписи Автоматическое

уплотнение сетки.



Наибольшую эффективность обеспечивает ручной метод уплотнения сетки с помощью *менеджера свойств* Управление сеткой

Чтобы открыть *менеджер свойств* Управление сеткой нужно щёлкнуть ПКМ в *дереве исследования* Simulation на значок Сетка и выбрать в контекстном меню пункт Применить элемент управления сеткой.





Пример использования опции Автоматический переход менеджера свойств Сетка: слева – без применения автоматического перехода; справа – с применением автоматического перехода



Результат применения управления сеткой с помощью *менеджера свойств* Управление сеткой для верхней кромки отверстия: сверху – до применения; снизу – после применения

Процедуры решения

В анализе конечных элементов задача представлена набором алгебраических уравнений, которые должны быть решены совместно. Существует два класса методов решения: прямой и итерационный.

Прямые методы решают уравнения, используя точные числовые методы. Итерационные методы решения уравнений используют способы аппроксимации, где в каждой итерации предполагается решение, а связанные с ним погрешности подсчитаны. Повторы продолжаются до тех пор, пока погрешности не становятся приемлемы.

- Прямой метод для разрежённых матриц (Direct sparse).
- Итерационный компактный метод (FFEPlus)
- Автоматическая решающая программа (Автоматическая)

Чтобы изменить решающую программу нужно щелкнуть ПКМ в *дереве исследования* Simulation на название исследования, которое находится в корне дерева, и выбрать в контекстном меню пункт **Свойства**. После на вкладке **Параметры** в разделе **Решающая программа** выбрать нужный метод.

Для запуска исследования необходимо нажать кнопку Запуск ¹²⁶ на Панели инструментов Simulation. После чего начинается процесс расчета по окончании которого в Дереве исследования Simulation появляется папка Результаты ¹²⁶.

Представление результатов

После успешного выполнения исследования программа создает папку **Результаты** в *дереве исследования* Simulation с эпюрами вид которых зависит от настроек по умолчанию.

Можно определить дополнительные эпюры, щёлкнув ПКМ на папку Результаты В *Дереве исследования* Simulation и выбрав в контекстном меню Определить <тип эпюры>.

Результаты исследования твердотельной детали

Чтобы просмотреть эпюры напряжений в различных системах единиц измерения, нужно нажать ПКМ по значку эпюры или ее шкале в графической области и в контекстном меню выбрать пункт **Редактировать определение**. В появившемся *Менеджере свойств* **Эпюра напряжений** в разделе **Отображение** в меню **Единицы** можно задать нужные единицы измерения.

пункт Анимировать 🕨.

Критерии прочности. Эпюра распределения запаса прочности

Программа позволяет оценивать прочность материалов с использованием четырёх критериев прочности:

- эквивалентных максимальных напряжений по Мизесу;
- максимальных касательных напряжений;
- Мора-Кулона;
- максимальных нормальных напряжений.

Менеджер свойств Запас прочности предлагает выполнить *3 шага* для оценки коэффициента запаса прочности.

Сообщение	✓ × G G	Шаг 3 из 3 ×
Аля Пластичных материалов используйте максимальное напряжение von Mises или критерий максимального касательного напряжения. Для Хрупких материалов используйте напряжение Мора-Кулона или критерии максимального нормального напряжения.	Шаг 2 из 3	 Рабиредскийе запаса прочности Области ниже запаса прочности 1 Результат прочности Базируется на критерии мак Запас прочности: 0.760015
ля построения эпюры аспределения запаса прочности	Использованные материалы	1 1 874,49 1 1 562,20 1 249,91 937.62
удем использовать	Предел текучести:	. 625.34
аксимальное напряжение по	220.594 N/mm^2 (MPa) Максимальный предел:	. 313.05

прочности

График критических областей детали

Эпюра распределения запаса прочности относительно заданного (критические области красного цвета)

Для определения опасных зон конструкции, где предел прочности может оказаться ниже необходимого значения на **3 шаге** в *менеджере свойств* **Запас прочности** нужно выбрать пункт **Области ниже запаса прочности** и ввести требуемое значение.

Определим области с запасом прочности **ниже 1**.

Настройка параметров графика

На примере эпюры результирующих перемещений настроим отображение цвета эпюры.

Для этого нажимаем ПКМ на **Перемещение** в папке **Результаты** и в контекстном меню выбираем пункт **Параметры графика**. В результате появится менеджер свойств **Параметры графика**.

В разделе **Положение/Формат** нажмем¹. В результате цветовая шкала в графической области займет место слева.

- В разделе Параметры цвета выбираем Настройка пользователя в раскрывающемся списке и устанавливаем следующие параметры:
- 3 в поле Количество цветов графика 📑 ;
- 3 в настройках пользователя 🚺
- нажмем на крайнюю правую палитру (перед белыми полями) и выберем красный из цветовой палитры (крайний правый цвет используется для наибольшего значения перемещения);
- Нажимаем OK

🗸 🗙	
Параметры отображения	*
Положение/Формат	*
Параметры цвета	×

Положение/Формат	~
Предварительно	
определенные положения	

гройка г	тользоват	елз 🔻
		÷
ереверн	уть	
іка поль	зователя	i i
	3	^
	гроика г ереверн іка поль	гроика пользоват еревернуть и́ка пользователя 3

Создание отчета

Текущий фор	мат отчета:	Формат статического исследования
Разделы отчета:		Параметры разделов
И Описание	*	Описание:
 Допущения Информация о м Свойства исслер Единицы измере Свойства матери Свойства матери Нагрузки и креп Определения со Данные контакт Информация о с Данные датчико 	юдели цования нала ления единителе а етке в	
20	· · · · ·	
Данные заголовка	,	
Создатель:		
Компания:		
TURL:		
Плоготип:		1
Адрес:		
Телефон:		M @akc:
_		
Параметры публи	кации отчета	
Путь отчета:	e:\files\solid	works (программа (результаты
Иня документа:	Уголок-Исс	ледование 1-1
		6000000
Orohonno	вогчет при пу	Unant-Olympian
🗹 Отобразит		

Создать Отчёт можно выбрав в меню Simulation пункт Отчёт или нажав кнопку на пане инструментов. В результате появится диалоговое окно Параметры отчёта

В диалоговом окне Параметры отчёта можно указать разделы, которые должны содержаться в отчёте, данные заголовка, а также указать папку, в которую будут сохраняться отчёты в поле Путь отчёта. После указания всех параметров нажатие кнопки Опубликовать создает отчёт в формате Microsoft Word.