

# Сквозное автоматизированное проектирование электронной аппаратуры

## *Лекция 14.*

Инженерный анализ методом конечных элементов.  
Оптимизация конструкций

# Задачи инженерного анализ конструкций. Оптимизация

Оптимизация  
конструкции

Улучшение результатов структурного или теплового анализа модели детали или сборки с изменением геометрии, выбранной для анализа.

## Примеры:

- Найти решение линейного статического анализа и затем использовать команду "Оптимизировать" для оптимизации напряжений, перемещений и запаса прочности для геометрии.
- Найти решение анализа стационарного теплообмена и затем оптимизировать его для минимизации теплоотдачи.
- Найти решение модального анализа и затем оптимизировать его для нахождения максимальной и минимальной резонансной частоты.

## Оптимизацию удобно использовать, когда:

- ✓ Некоторые элементы конструкции могут изменяться, и это можно сделать автоматически.
- ✓ Программа анализа может определить качество конструкции. Обычно для критериев оптимизации выбираются вычисленные количественные характеристики конструкции.
- ✓ Лучшие значения проектных переменных не очевидны. Например, конструкция может казаться пригодной, но нужно проверить ее перед принятием окончательного решения.

# Постановка задачи оптимизации

Проектный параметр

Это свойство модели или результат симуляции, который является **целью оптимизации**.

Проектное ограничение

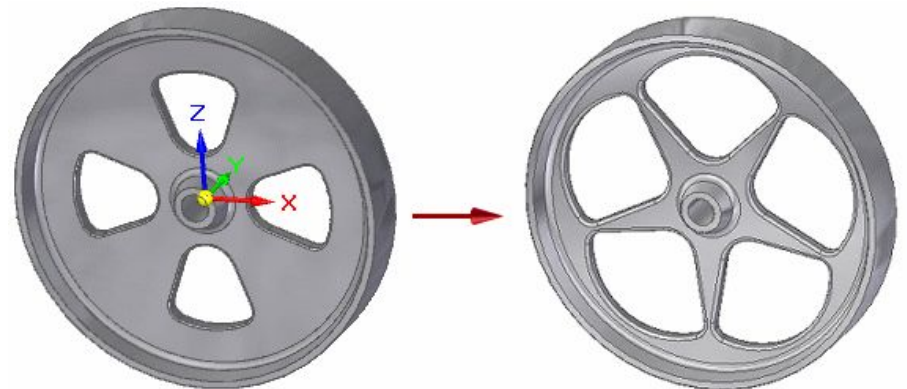
Это **условие**, которому должна удовлетворять оптимизация анализа.

Проектная переменная

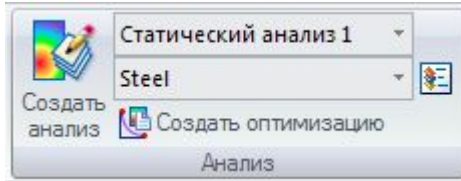
Это **изменяемые размеры** или другие **переменные** модели, определенные в таблице переменных и диалоговом окне "Физические свойства".

При оптимизации конструкции выполняется максимизация или минимизация целевого параметра путем изменения *проектных переменных* при удержании значений критических характеристик в пределах заданных *проектных ограничений*.

Минимизация **массы** детали (проектный параметр) при обеспечении уровня **напряжений меньше предела текучести** (проектное ограничение) в условиях **изменения** одного или нескольких **размеров** (проектные переменные).

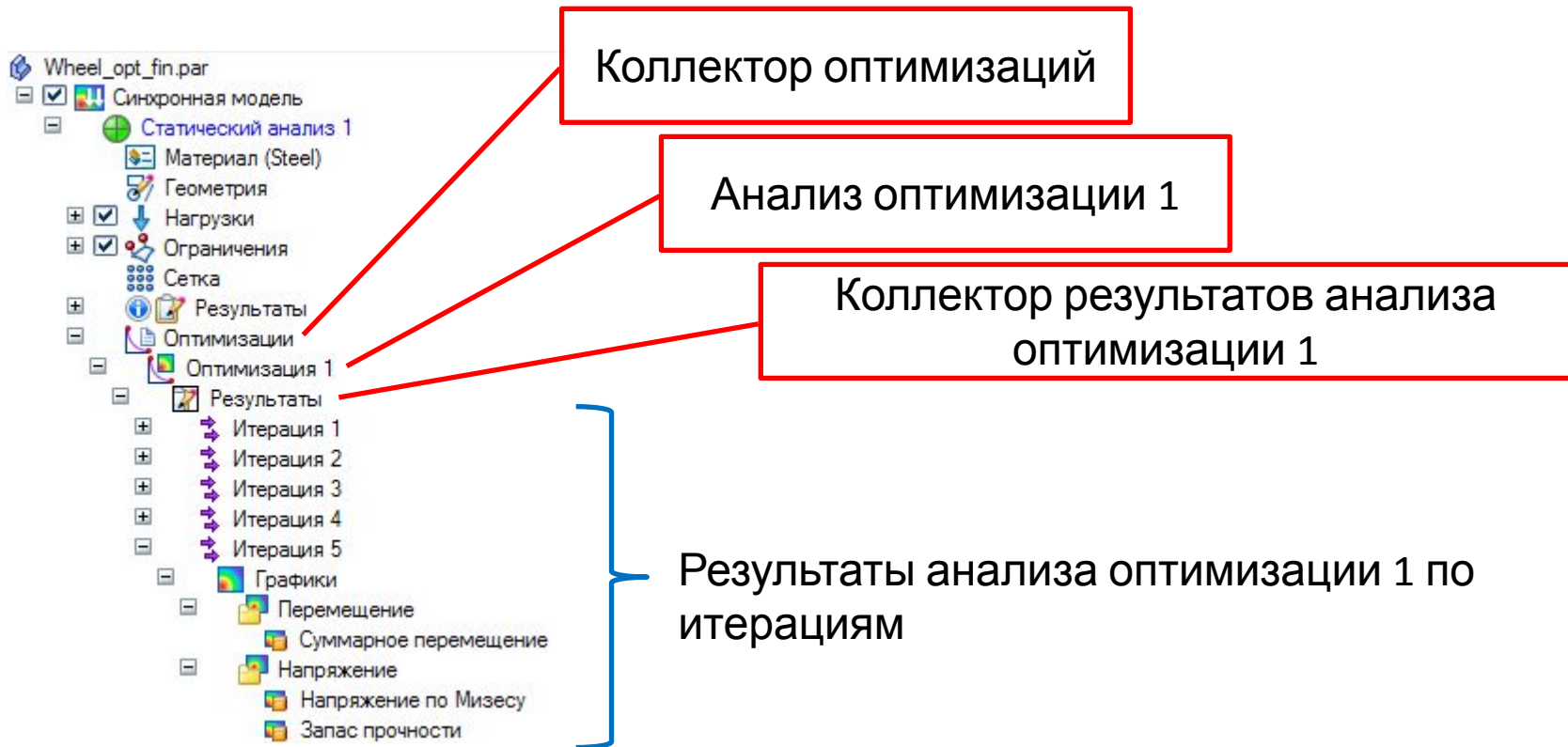


# Выполнение оптимизации конструкции



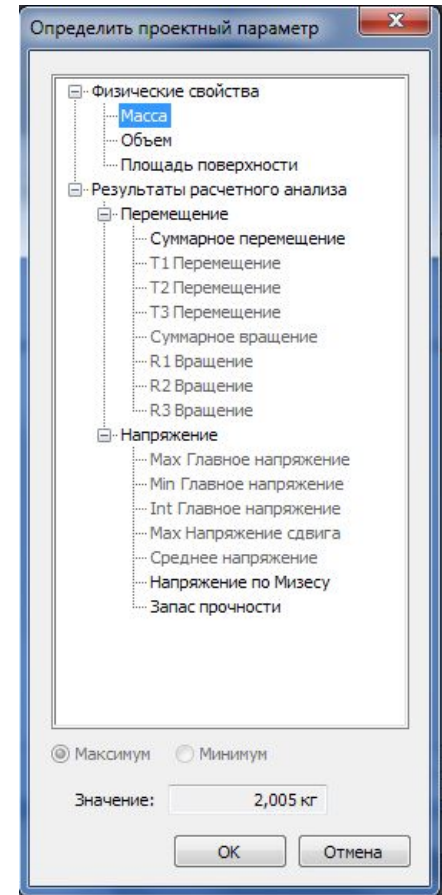
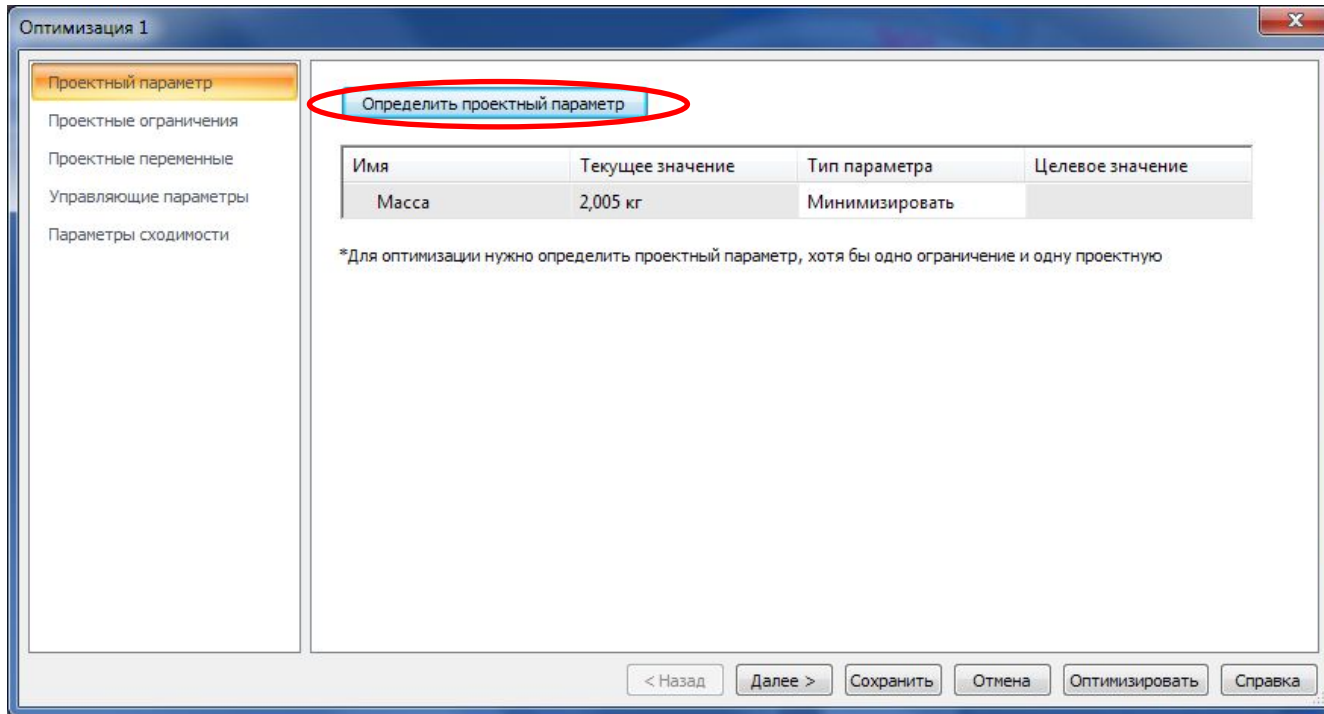
Команда **Создать оптимизацию** на вкладке **Симуляция** в группе **Анализ**, а также в контекстном меню выбранного тела симуляции.

## Итерационный процесс



# Задание параметров оптимизации. Проектный параметр

*Задается один целевой параметр оптимизации.*

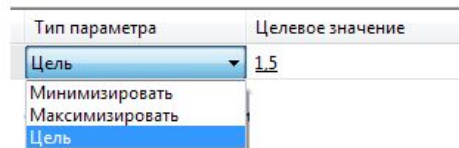


## Категории параметров

Физические свойства (масса, объем, площадь поверхности).

- Собственная частота (для модального анализа)
- Собственные значения критической нагрузки (для линейного анализа устойчивости)
- Результаты расчета, такие как напряжение, запас прочности, деформация или температура.

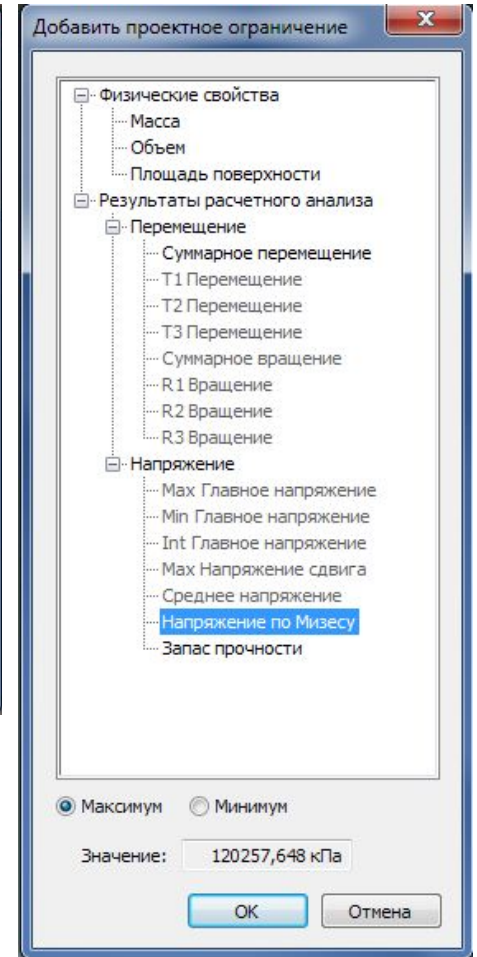
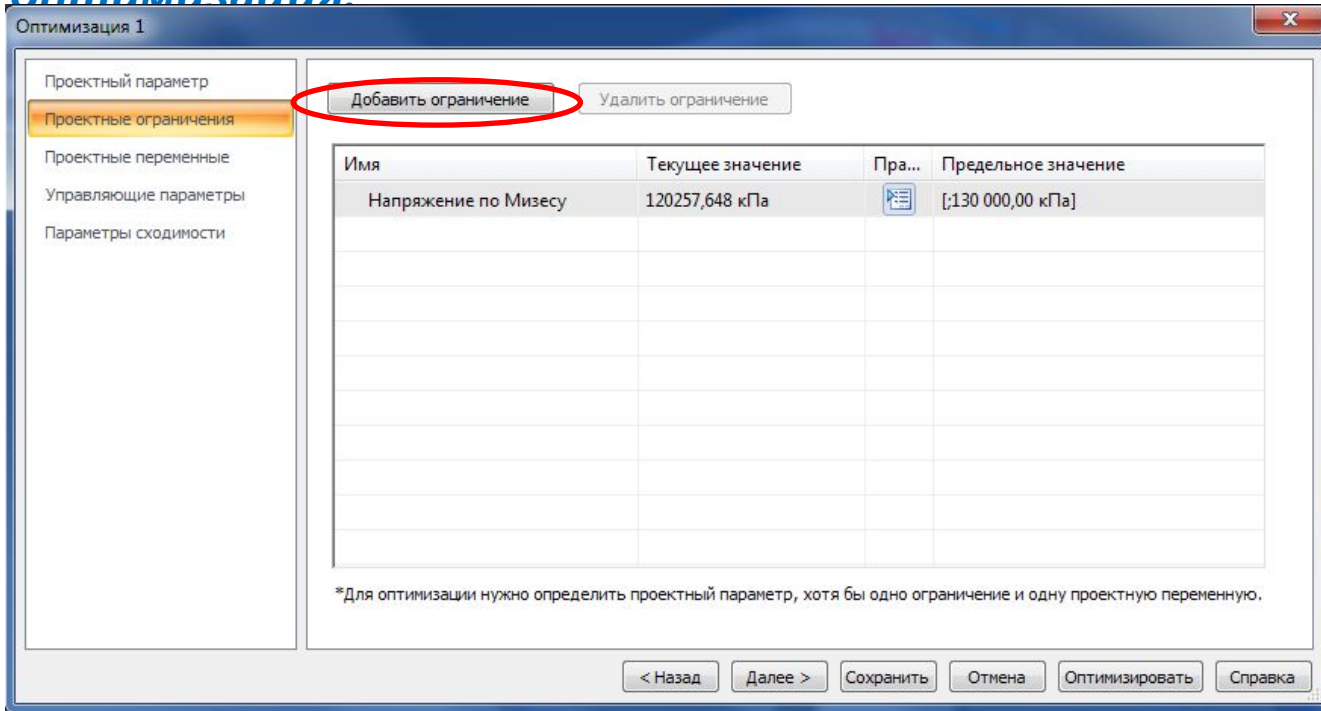
## Тип параметра



**Цель** – нужно задать значение, которое должен достигнуть проектный параметр.

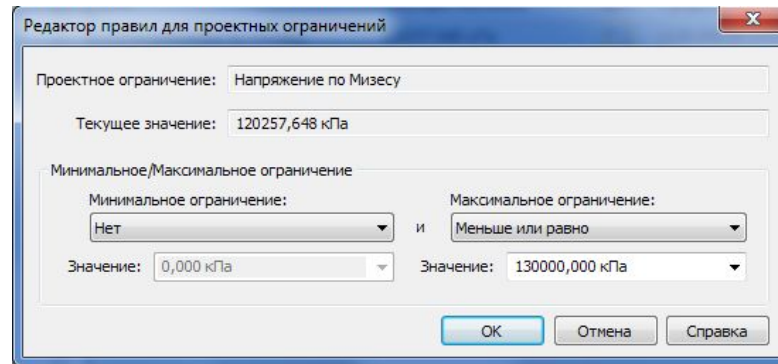
# Задание параметров оптимизации. Проектные ограничения

Определяются условия, которым должна удовлетворять оптимизация.



## Правил

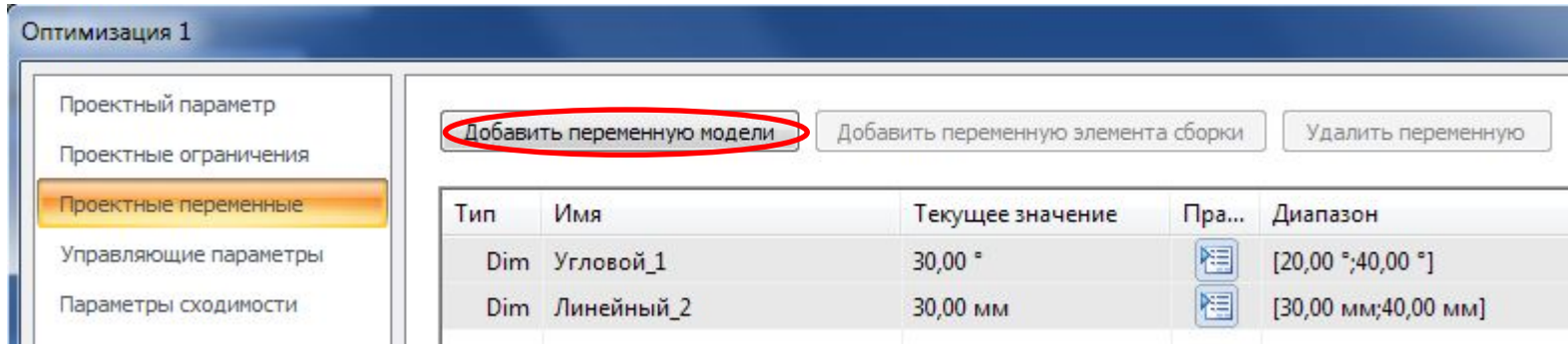
Открывает диалоговое окно Редактор правил для проектных ограничений для задания минимального и максимального значения диапазона ограничения.





# Задание параметров оптимизации. Проектные переменные

*Задаются изменяемые размеры или другие переменные модели.*



## Можно

### выбирать:

размеры, созданные в таблице переменных при построении геометрии (включая зафиксированные 3D-размеры на синхронных конструктивных элементах, эскизах и размеры сборочных связей).

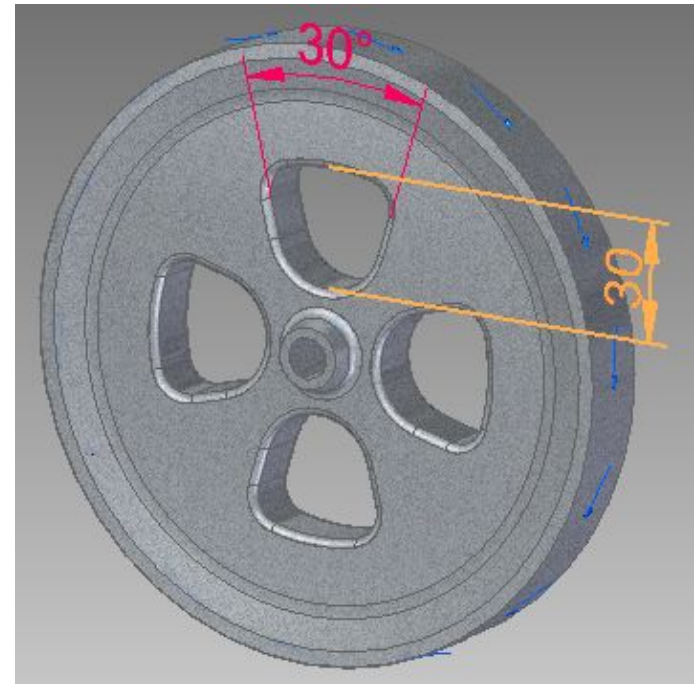
- Переменные, созданные пользователем в таблице переменных.
- Переменные элементов сборки.
- Переменные, связанные с формой, которые создаются при изменении геометрии (например, радиус скругления).
- Переменные для симуляции (Sim), которые представляют другой тип проектных переменных и автоматически добавляются в таблицу переменных при задании нагрузки или выборе поверхностной геометрии.

## Нельзя

### выбирать:

переменные с дискретными значениями или переменные, зависящие от формулы во вставленной ссылке.

- Переменные только для чтения, например 3D размеры в обычной детали.



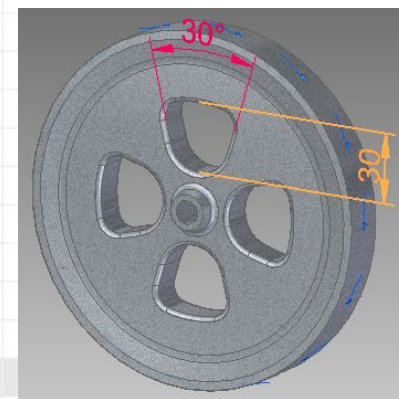
# Задание параметров оптимизации. Проектные переменные

*Задаются изменяемые размеры или другие переменные модели.*

Wheel\_opt.par:Таблица переменных

расстояние

Тип	Имя	Значение	Правило	Формула	Диапаз...	Внешняя	Внешнее имя	Комментарий
Var	Физические_свойства_Плотность	7833,000 кг/м <sup>3</sup>	Диапазон		[0,000 к...	<input checked="" type="checkbox"/>	Density	
Var	Физические_свойства_Точность	0,990	Диапазон		(0,000;1...	<input checked="" type="checkbox"/>	Accuracy	
Var	Массив_1_Количество_по_X	4,000				<input type="checkbox"/>		
Sim	Момент_вращения_1_Статический_анализ_1	250,000 Н·м				<input type="checkbox"/>		
Dim	Массив_1_Диаметр	55,00 мм				<input type="checkbox"/>		
Dim	Угловой_1	30,00 °				<input type="checkbox"/>		
Dim	Линейный_2	30,00 мм				<input type="checkbox"/>		
Dim	Радиальный_диаметр_1	145,00 мм				<input type="checkbox"/>		
Dim	Линейный_1	20,00 мм				<input type="checkbox"/>		
Dim	Радиальный_диаметр_3	145,00 мм				<input type="checkbox"/>		
Dim	Радиальный_диаметр_5	145,00 мм				<input type="checkbox"/>		



## Правил

Открывает диалоговое окно **Редактор правил для проектных переменных** для задания минимального и максимального значения диапазона переменной.

Редактор правил для проектных переменных

Проектная переменная:

Текущее значение:

Минимальное/Максимальное ограничение

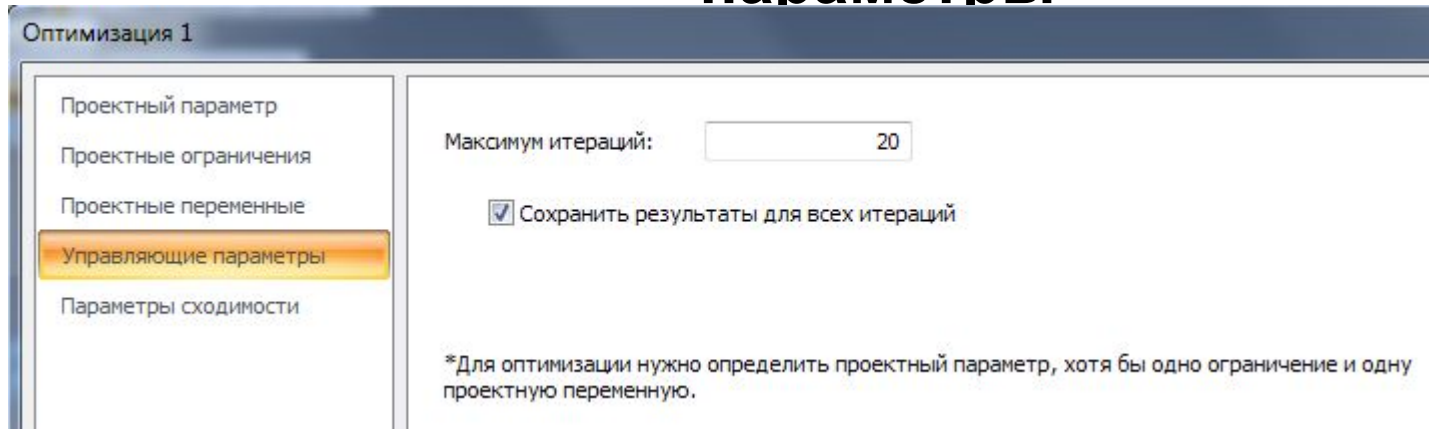
Минимальное ограничение:  и

Максимальное ограничение:

Значение:  Значение:



# Задание параметров оптимизации. Управляющие параметры



## Максимум

## итераций

Задаёт максимальное число итераций для расчета оптимизации независимо от сходимости решения.

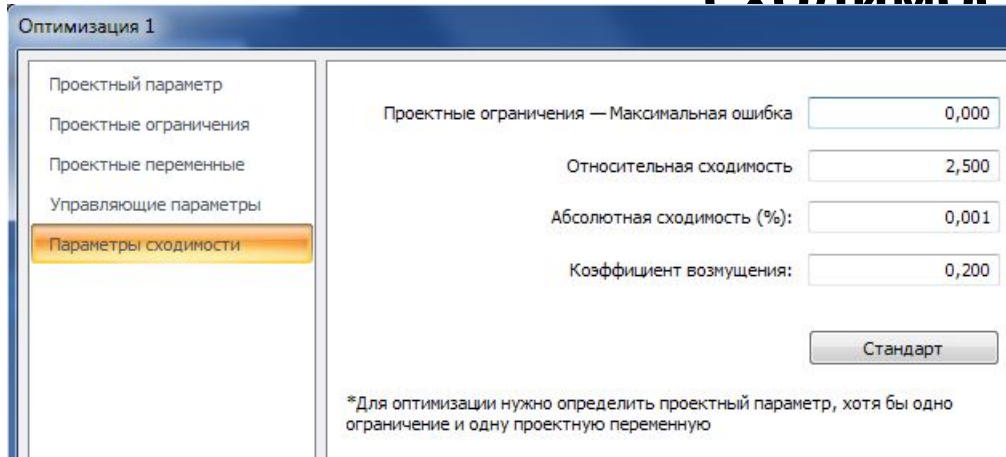
## Сохранить результаты для всех

## итераций

Когда этот флажок снят, сохраняются результаты только последней итерации.

Последняя итерация не обязательно является оптимальной итерацией.

# Задание параметров оптимизации. Параметры сходимости



## Проектные ограничения – Максимальная ошибка (%)

Определяет значение в процентах, на которое может быть превышено заданное проектное ограничение.

## Относительная сходимость (%)

Определяет относительное отклонение проектного параметра от сходящегося решения в процентах. По умолчанию используется значение 2.500.

## Абсолютная сходимость (%)

Определяет абсолютное отклонение проектного параметра от сходящегося решения в процентах. По умолчанию используется значение 0.001.

## Коэффициент возмущения






Задаёт относительное значение в процентах, на которое проектные переменные могут изменяться в процессе дискретизации на нескольких первых итерациях оптимизации. По умолчанию используется значение 0.200 (20%).

# Условия сходимости

Решение **сходится**, когда:

- ✓ относительное/абсолютное процентное изменение значений проектного параметра на двух последовательных итерациях меньше заданных значений.
- ✓ на последней итерации нет проектного ограничения с превышенной максимальной погрешностью.

Оптимизация считается выполненной успешно, когда получено решение, которое сходится, и отображается окно с сообщением о сходимости.

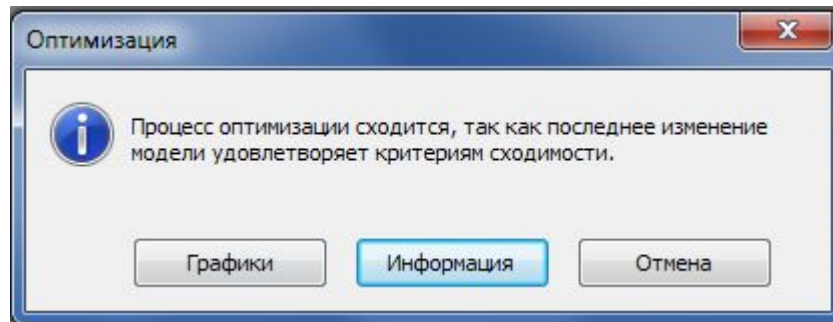
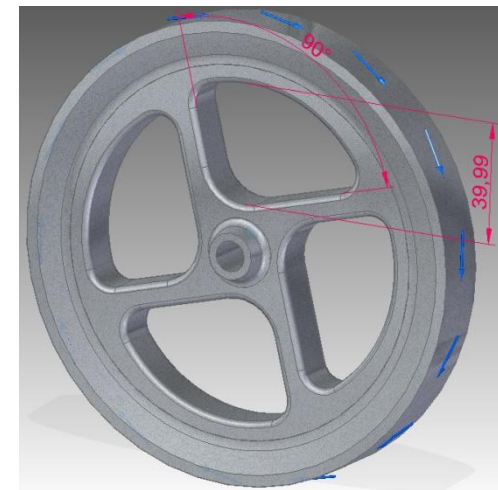
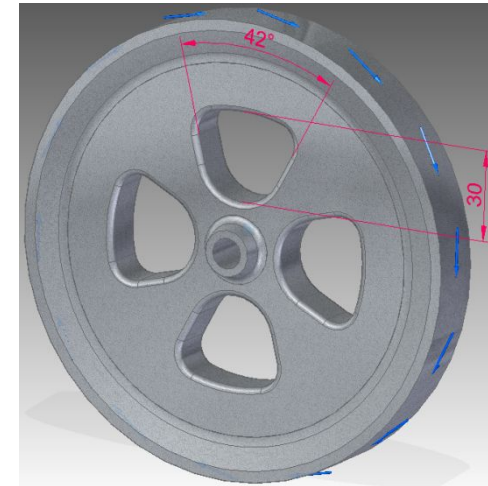
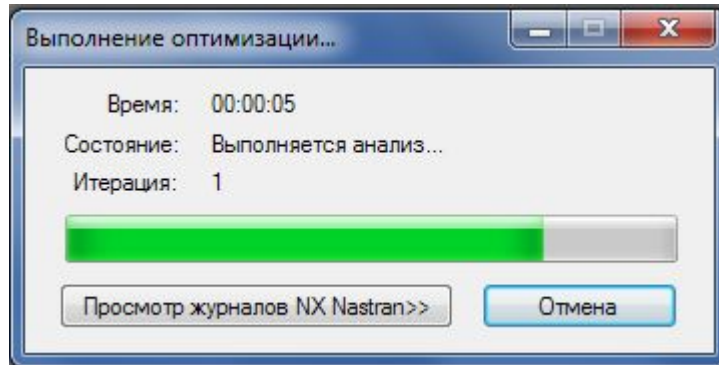
Сообщение о состоянии оптимизации	Смысл
 Нет сходимости.	Процесс оптимизации не сходится. Попробуйте изменить параметры оптимизации и повторить расчет.
 Небольшое изменение конструкции; есть сходимость.	Расчет оптимизации сходится, так как последние изменения конструкции удовлетворяют критерию сходимости.
 Нет улучшения конструкции; есть сходимость.	Расчет оптимизации сходится, так как один или несколько критериев сходимости не удовлетворяются и нет улучшения конструкции, удовлетворяющего всем критериям.
 Достигнуто максимальное число итераций; есть сходимость.	Расчет оптимизации сходится, так как достигнуто максимальное число итераций. Попробуйте изменить параметры оптимизации и повторить расчет.
 Ошибка решения/сетки/модели.	Невозможно выполнить оптимизацию из-за ошибки решения, сетки или модели.

# Рекомендации по оптимизации конструкции

## Необходимо:

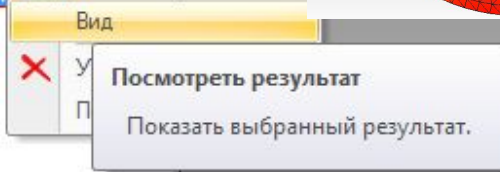
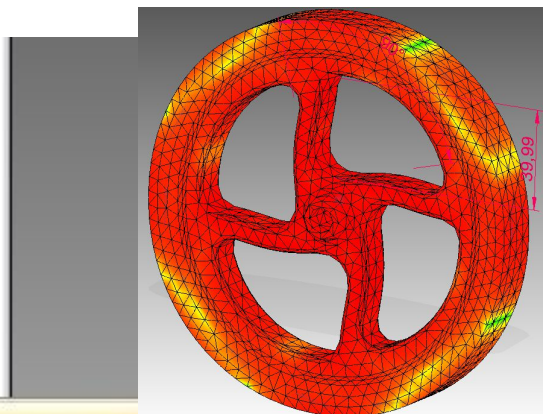
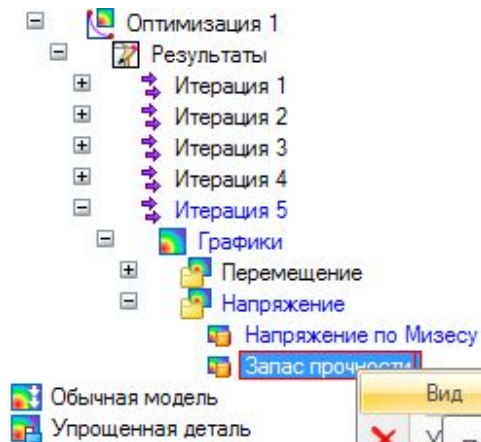
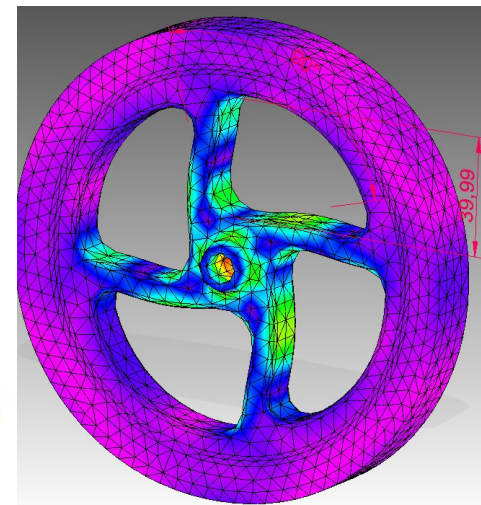
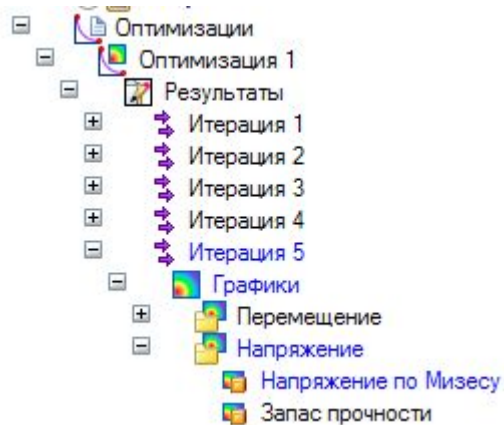
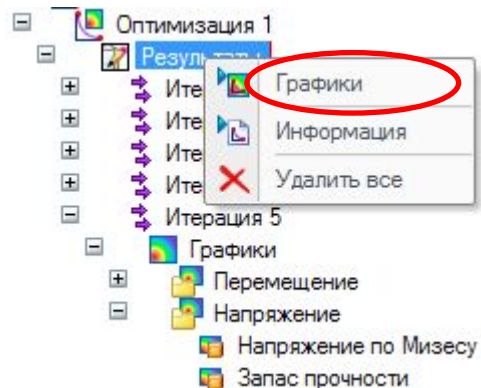
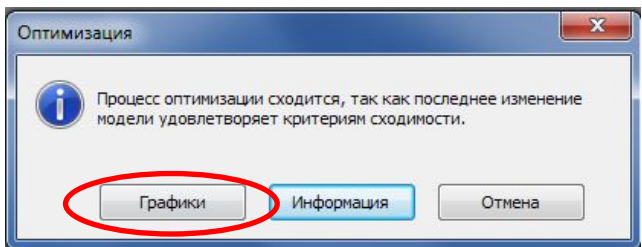
- задать необходимую точность в диалоговом окне **Атрибуты документа**;
- проверить, что для модели назначен правильный материал (см. меню приложения → **Атрибуты** → **Таблица материалов**;
- проверить, что в диалоговом окне **Физические свойства** содержатся обновленные свойства и единицы измерения, которые нужно использовать при оптимизации (вкладка **Измерения** → группа **Физические свойства** → команда **Физические свойства**;
- включить геометрию, которую нужно оптимизировать, в анализ и выполнить решение;
- в синхронном режиме задать корректные текущие правила, чтобы геометрия детали могла изменяться, удовлетворяя требованиям оптимизации;
- для нахождения лучшего решения выполнять одновременное изменение нескольких элементов конструкции, если требуется;
- если оптимальное значение переменной очевидно, то установить это значение переменной перед оптимизацией, и она должна быть задана как переменная оптимизации;
- не задавать избыточное количество переменных оптимизации;
- когда нужно оптимизировать большое количество переменных, можно попробовать разделить задачу на два цикла оптимизации.

# Результаты оптимизации конструкции

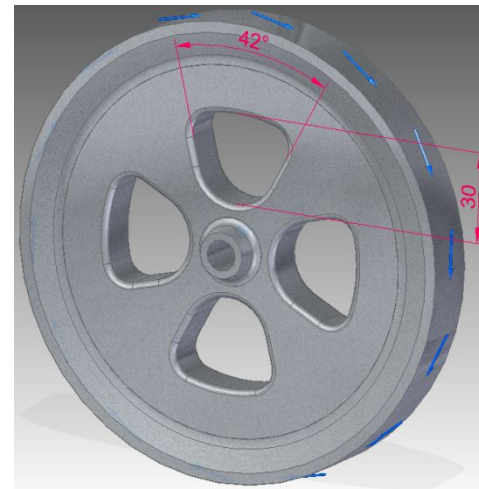
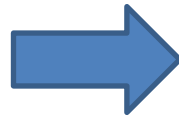
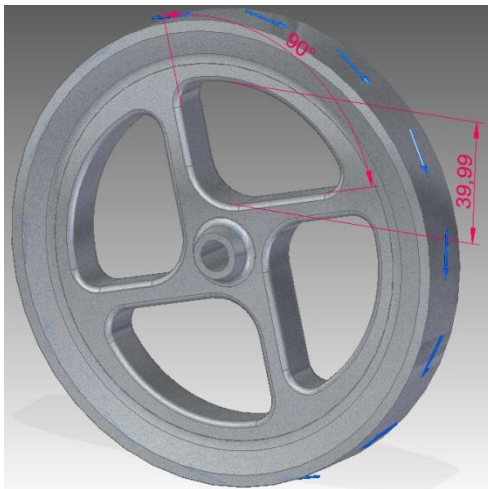
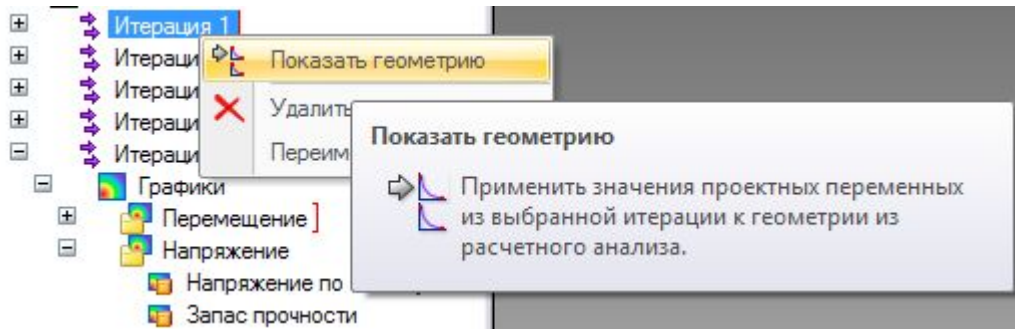




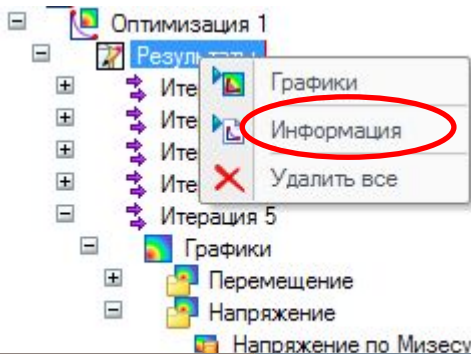
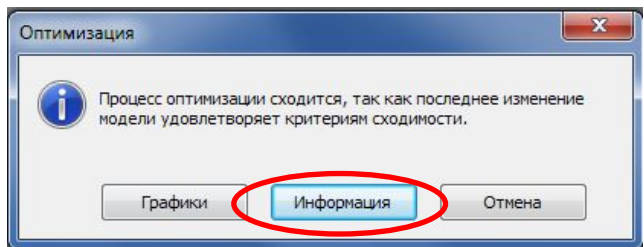
# Результаты оптимизации конструкции



# Результаты оптимизации конструкции

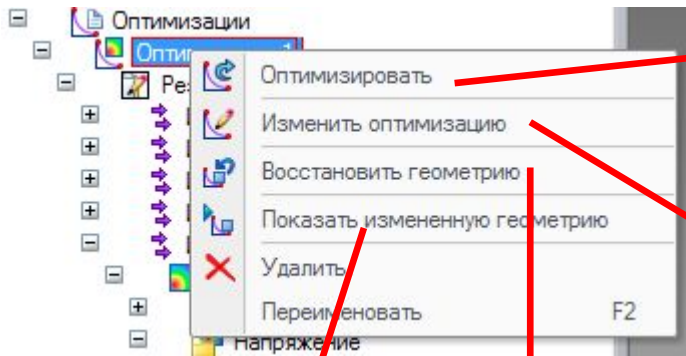


# Результаты оптимизации конструкции



	A	B	C	D	E	F	G
1	<b>Статический анализ 1 Оптимизация 1</b>						
2	Процесс оптимизации сходится, так как последнее изменение модели удовлетворяет критериям сходимости.						
3							
4	<b>Параметры оптимизации</b>		<b>Единицы</b>				
5	<b>Проектный параметр</b>		<b>Проектный параметр</b>	<b>Текущее значение</b>	<b>Тип параметра</b>	<b>Целевое значение</b>	
6		кг	Масса	2,005	Минимизировать		
7							
8	<b>Проектные ограничения</b>		<b>Ограничение</b>	<b>Текущее значение</b>	<b>Предельное значение</b>		
9		кПа	Напряжение по Мизесу	1,203E+05	[:130 000,00 кПа]		
10							
11	<b>Проектные переменные</b>		<b>Тип</b>	<b>Имя</b>	<b>Значение</b>	<b>Диапазон</b>	
12		°	Dim	Угловой_1	30,000	[30,00 °;90,00 °]	
13		мм	Dim	Линейный_2	30,000	[20,00 мм;40,00 мм]	
14							
15							
16	<b>Результаты оптимизации</b>		<b>Единицы</b>				
17	<b>Итерация</b>			1	2	3	4
18	<b>Проектный параметр</b>						5
19	Масса	кг		2,005	1,991	1,930	1,577
20							1,535
21	<b>Проектная переменная</b>						
22	Угловой_1	°		30,000	42,000	30,000	89,711
23	Линейный_2	мм		30,000	30,000	34,000	39,993
24							39,992
25	<b>Проектное ограничение</b>						
26	Напряжение по Мизесу	кПа		1,203E+05	1,196E+05	1,157E+05	1,145E+05
27							1,145E+05
28							
29	<b>Полученные результаты</b>		<b>Единицы</b>				
30	<b>Итерация</b>			1	2	3	4
31	Суммарное перемещение-Минимум	мм		0	0	0	0
32	Суммарное перемещение-Максимум	мм		0,057	0,058	0,058	0,098
33	Напряжение по Мизесу-Минимум	кПа		296,132	546,751	427,634	673,744
34	Напряжение по Мизесу-Максимум	кПа		1,203E+05	1,196E+05	1,157E+05	1,145E+05
35	Запас прочности-Минимум			2,179	2,191	2,265	2,281
36	Запас прочности-Максимум			884,744	479,196	612,676	388,896

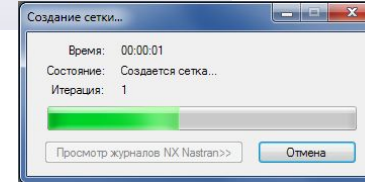
# Результаты оптимизации конструкции



## Оптимизировать



Выполнить оптимизационный анализ, используя параметры, заданные в диалоге оптимизации.



## Изменить оптимизацию

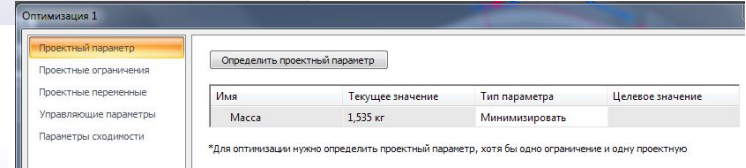


Изменить параметры оптимизации.

## Восстановить геометрию



Восстановить геометрию для расчетного анализа, применив значения проектных переменных из первой итерации.



## Показать измененную геометрию



Применить значения проектных переменных из последней итерации к геометрии из расчетного анализа.

