

Раздел 19

Оптимизация конструкций с учетом динамики

Раздел 19. Оптимизация конструкций с учетом динамики

• ЧТО ТАКОЕ “ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ”?	19 - 4
• ОСОБЕННОСТИ ОПТИМИЗАЦИИ С ПОМОЩЬЮ MSC.Nastran	19 - 5
• ПРЕИМУЩЕСТВА ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ С ПОМОЩЬЮ MSC.Nastran	19 - 6
• ВОЗМОЖНОСТИ ОПТИМИЗАЦИИ С ПОМОЩЬЮ MSC.Nastran	19 - 7
• ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ	19 - 9
• ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ В MSC.Nastran	19 - 10
• ОБЫЧНО ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ОПЕРАТИРЫ BULK DATA	19 - 12
• ПРИМЕР №15 – ОПТИМИЗАЦИЯ С УЧЕТОМ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ	19 - 13
• ОПЕРАТОРЫ ОПТИМИЗАЦИИ	19 - 15
• ВХОДНОЙ ФАЙЛ ДЛЯ ПРИМЕРА №15	19 - 16
• РЕЗУЛЬТАТЫ РЕШЕНИЯ ПРИМЕРА №15	19 - 18
• ПРЯМОЕ ЗАДАНИЕ ШИРОКОИСПОЛЬЗУЕМЫХ ФУНКЦИЙ	19 - 23
• ПРИМЕР ОПТИМИЗАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧАСТОТНОГО ОТКЛИКА	19 - 24
• ОПЕРАТОРЫ ОПТИМИЗАЦИИ	19 - 25
• ЗАДАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК	19 - 26
• ОПЕРАТОР TABLED4 ДЛЯ ЭТОГО ПРИМЕРА	19 - 27
• “ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ” ДИНАМИЧЕСКОГО ОТКЛИКА	19 - 28
• ОПИСАНИЕ “КОНСТРУКТОРСКОЙ” МОДЕЛИ	19 - 29
• ВХОДНОЙ ФАЙЛ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ МОДЕЛИ	19 - 30
• ФРАГМЕНТ ФАЙЛА CAR.BLK	19 - 31
• ФРАГМЕНТ ФАЙЛА SPRINGS.BLK	19 - 32
• ФРАГМЕНТ ФАЙЛА ОПТИМ.BLK	19 - 33

Оптимизация конструкций с учетом динамики (продолж.)

• ПРИМЕР №16 – ОПТИМИЗАЦИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧАСТОТНОГО ОТКЛИКА.....	19 - 35
• РЕШЕНИЕ ДЛЯ УПРАЖНЕНИЯ 16.....	19 – 36
• РЕЗУЛЬТАТЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ.....	19 - 42
• ИСТОРИЯ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ.....	19 - 43
• ИСТОРИЯ ПЕРЕМЕННЫХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ.....	19 - 44
• ПЕРЕМЕЩЕНИЕ КОЛЕСА	19 - 45
• ПЕРЕМЕЩЕНИЕ СИДЕНЬЯ ВОДИТЕЛЯ	19 - 46
• ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	19 - 47

Что такое “Оптимизация конструкций”?

- Автоматическое изменение параметров расчетной модели для достижения поставленной цели при обеспечении выполнения конструктивных ограничений.

● ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

- Улучшение конструкции объекта (оптимизация)
- Получение физически реализуемой конструкции из нереализуемой
- Подбор параметров модели для получения требуемого отклика
- Идентификация параметров системы
- Анализ корреляции расчетной модели и опытных данных (см. Раздел 20)
- Другие (в зависимости от выдумки конструктора)

Особенности оптимизации с помощью MSC.Nastran

- Простота исследования возможности создания конструкции
 - Понятие “конструкторской” модели
- Гибкость в представлении “конструкторской” модели
 - Задаваемые пользователем уравнения, интерпретирующие требования к конструкции
- Эффективное решение задач любой размерности
 - Количество выполняемых КЭ расчетов как мера эффективности

Преимущества оптимизации конструкций с помощью MSC.Nastran

- Высокая эффективность решения от малых до больших задач
- Надежная сходимость решения
- Гибкий интерфейс пользователя (в т.ч. возможность задания пользователем основных уравнений)
- Полное использование аппроксимационного подхода
- Постоянное улучшение алгоритмов
- Результаты базируются на доказанной надежности MSC.Nastran
- Высокий уровень поддержки как части MSC.Nastran
- Доступ к знакомым инструментам анализа MSC.Nastran

Возможности оптимизации с помощью MSC.Nastran

- Multi-Disciplinary Optimization



Оптимизация с учетом статического отклика



Оптимизация с учетом устойчивости



Оптимизация с учетом динамических эффектов

- Прямой анализ частотного отклика
- Модальный анализ частотного отклика
- Модальный анализ переходного процесса
- Акустический анализ
- Оптимизация с использованием суперэлементов
 - Границы суперэлементов “прозрачны” для конструкторской модели.
- Оптимизация с учетом аэроупругости
 - Статическая аэроупругость
 - Флаттер

Возможности оптимизации с помощью MSC.Nastran

- Оптимизация формы
- Четыре метода генерации базовых векторов
 - “Ручная” вариация положения узлов
 - Прямой ввод формы
 - Геометрические граничные формы
 - Аналитические граничные формы

Постановка задачи оптимизации

- **Переменные проектирования**

$$\text{Find } \{X\} = (X_1, X_2, \dots, X_n)$$

- **Цель:**

- Минимизация $F(X)$

- **При соблюдении:**

- Ограничения типа “меньше или равно”:

$$G_j(X) \leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, M$$

- Ограничения типа “равно”:

$$H_k(X) = 0 \quad k = 1, 2, \dots, L$$

- Двухсторонние ограничения:

$$X_j^L \leq X_j \leq X_j^U \quad j = 1, 2, \dots, N$$

Оптимизация конструкций в MSC.Nastran

- Оператор **ANALYSIS** в **Case Control Section** позволяет задать тип анализа, используемого при оптимизации, для каждого из расчетных случаев (subcase'ов).
- С помощью оператора **ANALYSIS** можно инициализировать следующие типы анализа:
 - **STATICS** - статический
 - **MODES** - собственных колебаний
 - **BUCK** - устойчивости
 - **DFREQ** - частотного отклика (прямой)
 - **MFREQ** - частотного отклика (модальный)
 - **MTRAN** - переходного процесса (модальный)
 - **SAERO** - статической аэроупругости
 - **FLUTTER** - флаттера

Оптимизация конструкций в MSC.Nastran

- Пример оптимизации с учетом двух статических расчетов (subcase 1 и subcase 2), расчета частотного отклика модальным методом (subcase 3) и анализа переходного процесса (subcase 4).

```
SOL 200
cend
spc = 100
DESOBJ ( M N ) = 15
ANALYSIS = STATICS
subcase 1
  subtitle=static load 1
  DESSUB = 10
  displacement = all
  stress = all
  load = 1
subcase 2
  subtitle=static load 1
  DESSUB = 20
  displacement = all
  strain(fiber) = all
  load = 2
subcase 3
  subtitle=modal analysis
  ANALYSIS = MDES
  DESSUB = 30
  method = 3
subcase 4
  subtitle=transient analysis
  ANALYSIS = MTRAN
  DESSUB = 40
  method = 4
  load = 4
  TSTEP = N
begin bulk
```

design constraint

design constraint

Обычно используемые операторы Bulk Data

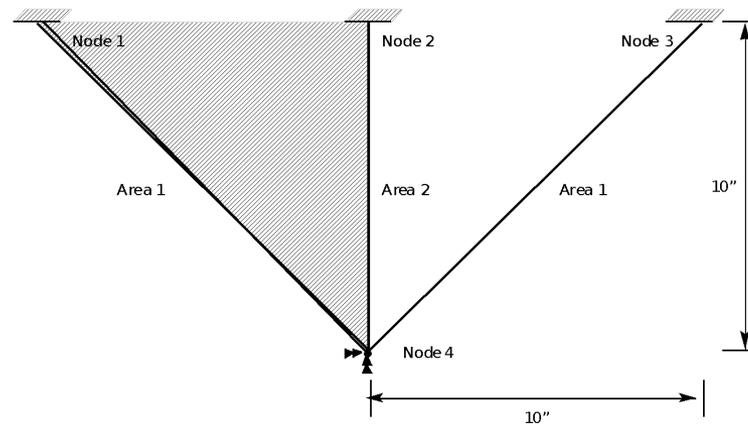
- DESVAR - Определяет переменную проектирования.
- DVPREL1 - Задаёт связь между *свойством* расчётной модели и переменной проектирования.
- DLINK - Задаёт связи между одной или несколькими переменными проектирования.
- DRESP1 - *Непосредственно* определяет параметр, используемый либо в качестве ограничения (для этого он указывается оператором DCONSTR в Bulk Data Section), либо как целевая функция (инициализируется оператором DESOBJ в Case Control Section).
- DCONSTR - Определяет ограничительную функцию (инициализируется оператором DESSUB в Case Control Section).
- DCONADD - Определяет ограничительную функцию для subcase'а объединением нескольких операторов DCONSTR.
- DRESP2 - Определяет *комплексный* параметр, используемый либо в качестве ограничения, либо в качестве целевой функции.
- DEQATN - Задаёт уравнения, используемые при оптимизации.
- DVCREL1 - Определяет связь между параметром топологии элемента и переменной проектирования.
- DVCREL2 - Определяет связь между параметром топологии элемента и переменной проектирования с использованием уравнения, заданного пользователем.
- DVMREL1 - Определяет связь между свойством материала и переменной проектирования.
- DVMREL2 - Определяет связь между свойством материала и переменными проектирования с использованием уравнения, заданного пользователем.

Пример №15

Оптимизация с учетом собственных колебаний

Пример №15. Оптимизация с учетом собственных колебаний

- Минимизировать вес трехстержневой конструкции. Первая частота собственных колебаний д.б. в диапазоне 1500-1550 Гц. Конструкция должна быть симметричной.



Elastic Modulus:	10E6
Poisson's Ratio	0.33
Density:	0.1
Wt.-Mass Conversion	0.00259
Area 1:	1.0
Area 2:	2.0

Операторы оптимизации

- **Переменные проектирования**
 - Площади поперечных сечений элементов ROD (A1, A2, A3)
- **Цель**
 - Минимизация веса стержней.
- **Необходимо выполнение следующих требований:**
 - Первая частота собственных колебаний д.б. в диапазоне 1500-1550 Гц.
 - $A1 = A3$ – условие симметрии конструкции.

Входной файл для Примера №15

```
ID NAS102, WORKSHOP 15
TIME 10
SOL 200          $ OPTIMIZATION
CEND
TITLE= SYMMETRIC THREE BAR TRUSS DESIGN OPTIMIZATION - VARIATION OF D200X1
SUBTITLE= GOAL IS TO MIN WT WHILE KEEPING THE 1ST MODE BETWEEN 1500-1550 HZ
ECHO= SORT
SPC= 100
DISP(PLOT) ALL
DESOBJ(MIN)= 100  $ (DESIGN OBJECTIVE = DRESP ID)
DESSUB= 200      $ DEFINE CONSTRAINT SET FOR BOTH SUBCASES
SUBCASE 1
  ANALYSIS= MODES
  METHOD= 10
BEGIN BULK
$
$-----
$ ANALYSIS MODEL
$-----
$
EIGRL, 10, , , 2
PARAM, POST, -1
$
$ GRID DATA
$      2      3      4      5      6      7      8      9      10
GRID,  1,    ,   -10.0,   0.0,   0.0
GRID,  2,    ,    0.0,   0.0,   0.0
GRID,  3,    ,   10.0,   0.0,   0.0
GRID,  4,    ,    0.0,  -10.0,   0.0
$ SUPPORT DATA
SPC,   100,  1,   123456, ,   2,   123456
SPC,   100,  3,   123456, ,   4,   3456
$ ELEMENT DATA
CROD,  1,   11,   1,    4
CROD,  2,   12,   2,    4
CROD,  3,   13,   3,    4
$ PROPERTY DATA
PROD,  11,   1,   1.0
PROD,  12,   1,   2.0
PROD,  13,   1,   1.0
MAT1,  1,   1.0E+7, ,   0.33,   0.1
$
PARAM, WTMASS, .00259
```

NAS102

Декабрь 2001, Стр. 19-16

MSC Moscow

Входной файл для Примера №15

```
$-----
$ DESIGN MODEL
$-----
$
$...DESIGN VARIABLE DEFINITION
$
$DESVAR, ID, LABEL, XINIT, XLB, XUB, DELXV (OPTIONAL)
DESVAR, 1, A1, 1.0, 0.1, 100.0
DESVAR, 2, A2, 2.0, 0.1, 100.0
DESVAR, 3, A3, 1.0, 0.1, 100.0
$
$...IMPOSE X3=X1 (LEADS TO A3=A1)
$
$DLINK, ID, DDVID, CO, CMULT, IDV1, C1, IDV2, C2, +
$+, IDV3, C3, ...
DLINK, 1, 3, 0.0, 1.0, 1 1.00
$
$...DEFINITION OF DESIGN VARIABLE TO ANALYSIS MODEL PARAMETER RELATIONS
$
$DVPREL1, ID, TYPE, PID, FID, PMIN, PMAX, CO, , +
$+, DVID1, COEF1, DVID2, COEF2, ...
DVPREL1, 10, PROD, 11, 4, , , , +DP1
+DP1, 1, 1.0
DVPREL1, 20, PROD, 12, 4, , , , +DP2
+DP2, 2, 1.0
DVPREL1, 30, PROD, 13, 4, , , , +DP3
+DP3, 3, 1.0
$
$...STRUCTURAL RESPONSE IDENTIFICATION
$
$DRESP1 ID LABEL RTYPE PTYPE REGION ATTA ATTB ATT1 +
$+ ATT2 ...
DRESP1 100 W WEIGHT
DRESP1 210 MODE1 EIGN 1
$
$...CONSTRAINTS
$
$DCONSTR, DCID, RID, LALLOW, UALLOW
DCONSTR, 200, 210, 8.883E7, 9.485E7
$
$...OPTIMIZATION CONTROL
$
DOPTPRM, DESMAX, 30
$
ENDDATA
```

Результаты решения Примера №15

0

SUBCASE 1

SUMMARY OF DESIGN CYCLE HISTORY

(HARD CONVERGENCE ACHIEVED)

(SOFT CONVERGENCE ACHIEVED)

NUMBER OF FINITE ELEMENT ANALYSES COMPLETED 13
NUMBER OF OPTIMIZATIONS W.R.T. APPROXIMATE MODELS 12

OBJECTIVE AND MAXIMUM CONSTRAINT HISTORY

CYCLE NUMBER	OBJECTIVE FROM APPROXIMATE OPTIMIZATION	OBJECTIVE FROM EXACT ANALYSIS	FRACTIONAL ERROR OF APPROXIMATION	MAXIMUM VALUE OF CONSTRAINT
INITIAL		4.828427E+00		1.922634E-01
1	4.624039E+00	4.623868E+00	3.712506E-05	-3.992662E-03
2	3.699272E+00	3.699094E+00	4.795320E-05	-3.992493E-03
3	2.958851E+00	2.959000E+00	-5.019763E-05	-4.089320E-03
4	2.366940E+00	2.367200E+00	-1.099836E-04	-4.089320E-03
5	1.892237E+00	1.892110E+00	6.722458E-05	-4.995593E-03
6	1.514333E+00	1.514324E+00	5.982807E-06	-4.559115E-03
7	1.210749E+00	1.210854E+00	-8.624274E-05	-5.078925E-03
8	9.690658E-01	9.690483E-01	1.808348E-05	-4.686642E-03
9	7.753531E-01	7.752386E-01	1.476971E-04	-4.686642E-03
10	6.202133E-01	6.201910E-01	3.604010E-05	-4.686726E-03
11	5.758922E-01	5.758651E-01	4.699106E-05	-3.288561E-04
12	5.758651E-01	5.758651E-01	0.000000E+00	-3.288561E-04

Результаты решения Примера №15

1 SYMMETRIC THREE BAR TRUSS DESIGN OPTIMIZATION - VARIATION OF D200 APRIL 22, 1998 MSC.Nastran 4/20/98 PAGE 47
 GOAL IS TO MIN WT WHILE KEEPING THE 1ST MODE BETWEEN 1500-1550

0

SUBCASE 1

DESIGN VARIABLE HISTORY

INTERNAL DV. ID.	EXTERNAL DV. ID.	LABEL	INITIAL	1	2	3	4	5
1	1	A1	1.0000E+00	8.0000E-01	6.4000E-01	5.1190E-01	4.0952E-01	3.2703E-01
2	2	A2	2.0000E+00	2.3611E+00	1.8889E+00	1.5111E+00	1.2089E+00	9.6712E-01
3	3	A3	1.0000E+00	8.0000E-01	6.4000E-01	5.1190E-01	4.0952E-01	3.2703E-01

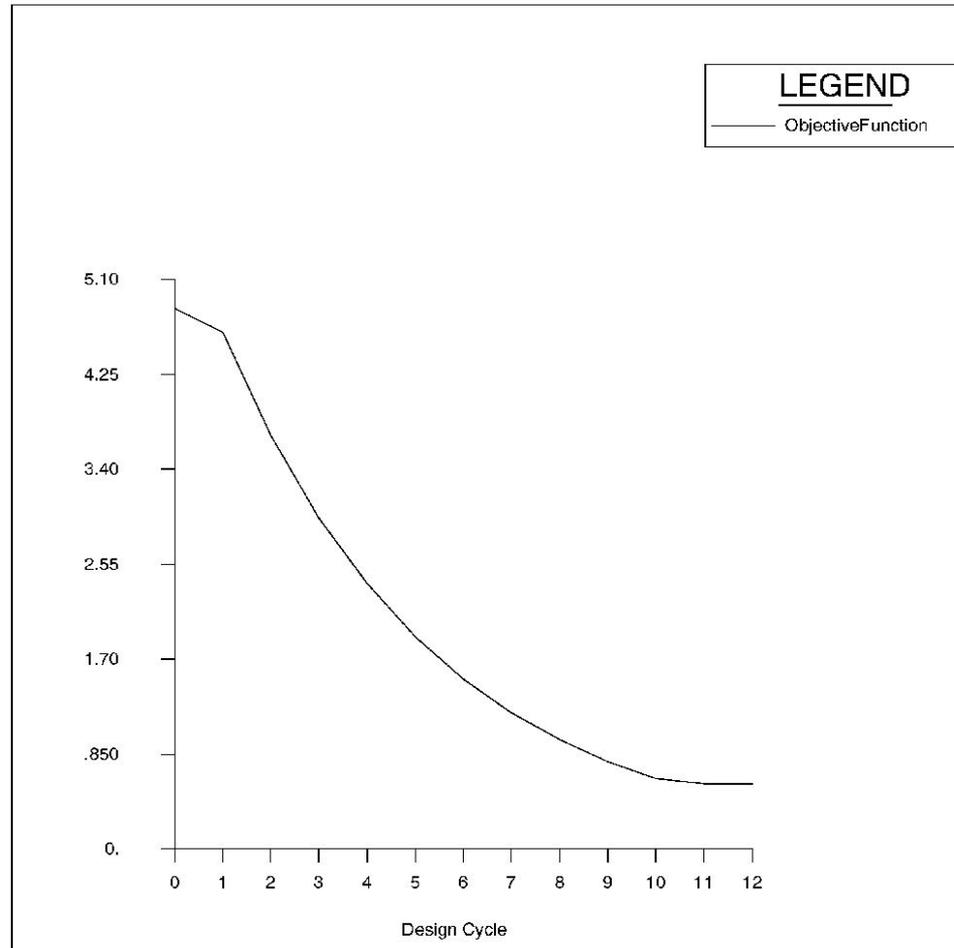
INTERNAL DV. ID.	EXTERNAL DV. ID.	LABEL	6	7	8	9	10	11
1	1	A1	2.6185E-01	2.0927E-01	1.6754E-01	1.3403E-01	1.0723E-01	1.0000E-01
2	2	A2	7.7369E-01	6.1895E-01	4.9516E-01	3.9613E-01	3.1690E-01	2.9302E-01
3	3	A3	2.6185E-01	2.0927E-01	1.6754E-01	1.3403E-01	1.0723E-01	1.0000E-01

INTERNAL DV. ID.	EXTERNAL DV. ID.	LABEL	12	13	14	15	16	17
1	1	A1	1.0000E-01					
2	2	A2	2.9302E-01					
3	3	A3	1.0000E-01					

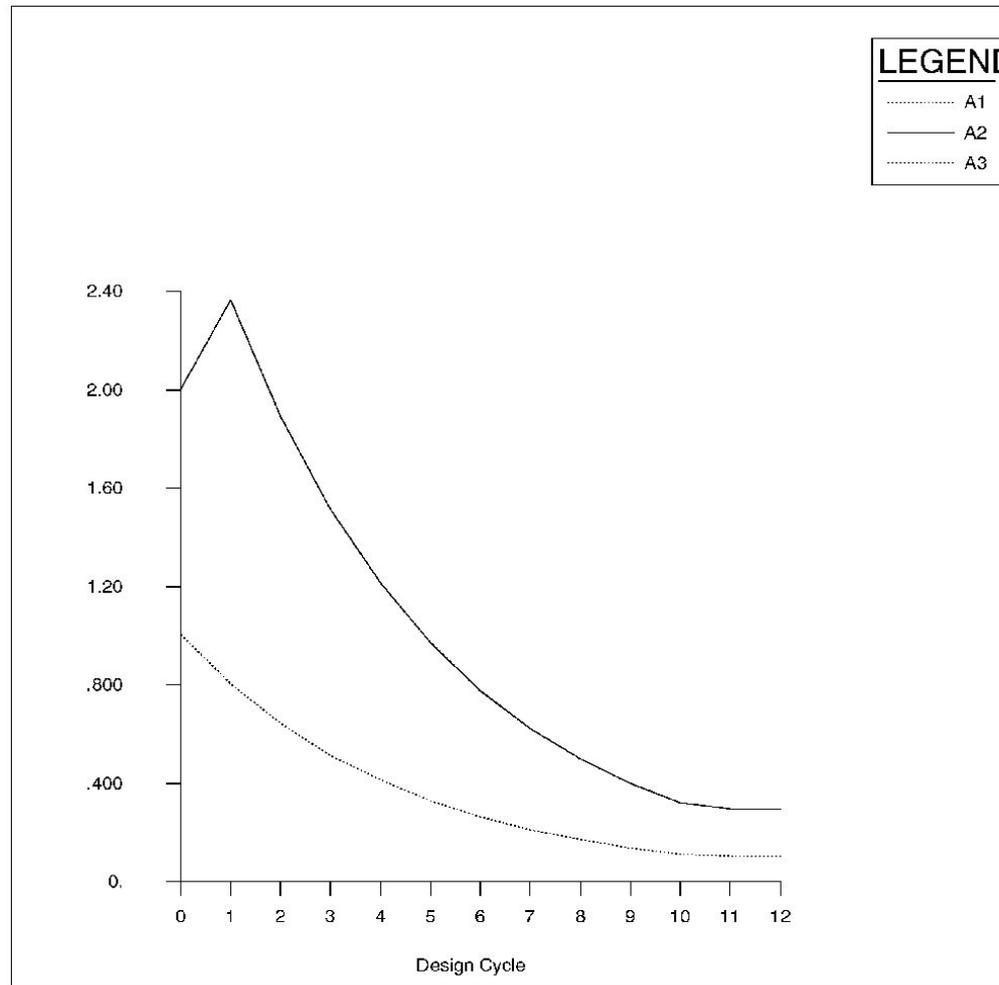
*** USER INFORMATION MESSAGE 6464 (DOM12E)

RUN TERMINATED DUE TO HARD CONVERGENCE TO AN OPTIMUM AT CYCLE NUMBER = 12.

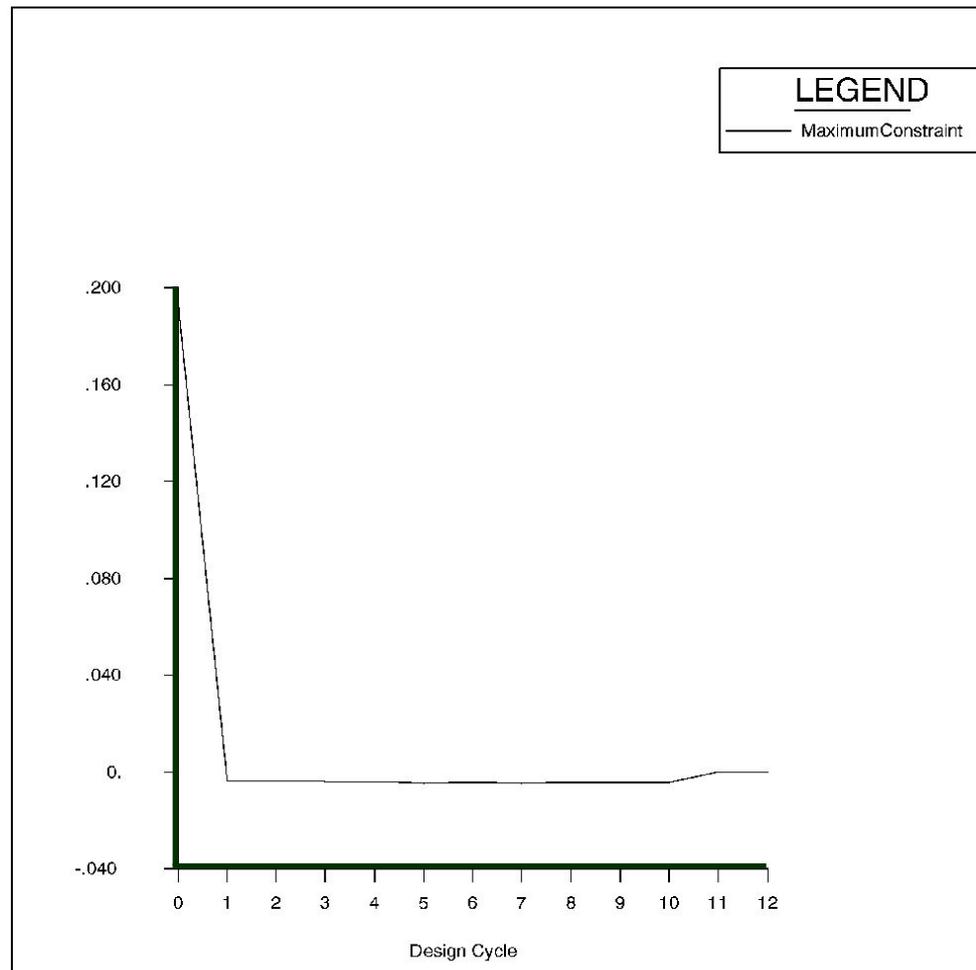
Результаты решения Примера №15



Результаты решения Примера №15



Результаты решения Примера №15

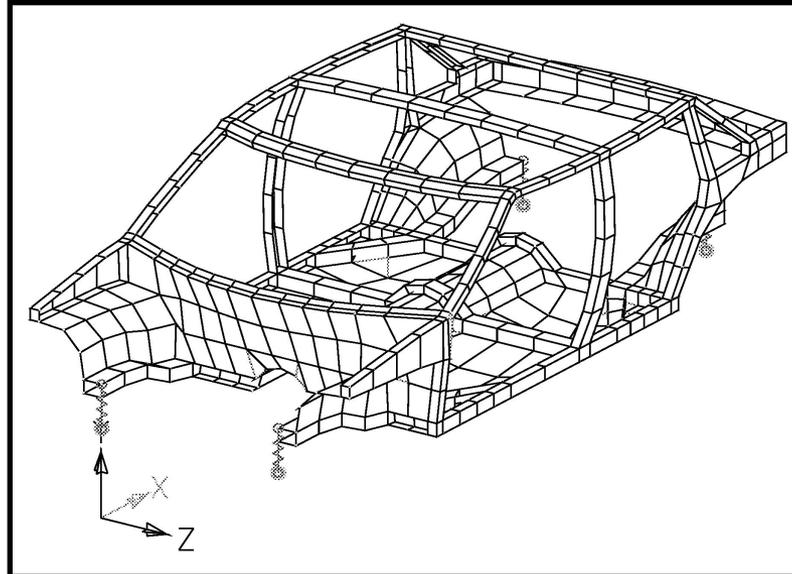


Прямое задание широко-используемых функций

- Прямое задание широко используемых функций (например, SUM, RSS, AVG и т.п.) с помощью оператора DRESP1 для анализа переходного процесса и частотного отклика.
- Пример:
 - DRESP1,100,RSSCAL,FRDISP,,,3,RSS,100
 - Оператор DRESP1 вычисляет квадратный корень из суммы перемещений узла №100 вдоль оси Z на всех частотах вынуждающей силы.

Пример оптимизации с использованием частотного отклика

- В модели автомобиля левое переднее колесо не сбалансировано (несбалансированная масса равна 0,3 на радиусе 10 дюймов). Интерес представляет диапазон 0,5-50 Гц. Величина вибраций колеса не должна превышать 0,5 дюйма. Величина перемещений сиденья водителя – не более 0,25 дюйма в диапазоне 0,5-25 Гц. Необходимо минимизировать величину “корня квадратного из суммы квадратов амплитуд” перемещения сиденья водителя в диапазоне 0,5-25 Гц. Использовать модальный метод анализа.



Операторы оптимизации

- **Переменные проектирования:**
 - Параметры жесткости и демпфирования в модели автомобиля
- **Цель:**
 - Минимизация величины “корня квадратного из суммы квадратов амплитуд” перемещения сиденья водителя в диапазоне 0,5-25 Гц
- **Необходимо выполнение следующих требований:**
 - Максимальные вертикальные перемещения колеса д.б. не более 0,5 дюйма
 - Максимальные вертикальные перемещения сиденья водителя д.б. не более 0,25 дюйма

Задание динамических нагрузок

$$F = \omega^2 mr$$

Направление вращения

θ

$$\theta = \omega t$$

$$F_x = F \cos(\omega t)$$

$$F_y = F \sin(\omega t)$$

- Используем оператор DAREA для задания амплитуд F_x и F_y (mr)
- Используем операторы RLOAD1 для задания каждой нагрузки
- Используем оператор DPHASE для задания фазовых зависимостей
- Используем оператор TABLED4 для задания зависимости нагрузки от частоты (ω^2)
- Используем оператор DLOAD для комбинирования нагрузок (RLOAD1'ов)

Оператор TABLED4 для этого примера

$$Y = \sum_{i=0}^N A_i \left(\frac{(X - X_1)}{X_2} \right)^i$$

- Назначим $X_1 = 0$. $X_2 = 1$. $X_3 = 0$. $X_4 = 1000$. (более чем достаточно для интересующего диапазона частот)
- Поскольку X измеряется в Гц, то для получения его значения в рад/с необходимо учесть множитель 2π
- Возбуждающая сила равна $m r \omega^2$ - введем $m r$ с помощью оператора DAREA, надо, однако, еще ω^2
- Предполагаем получить ω^2 с помощью оператора TABLED4, что достигается назначением $A_1=0.0$ and $A_2=(2\pi)^2$

Чувствительность динамического отклика

- MSC.Nastran обеспечивает вычисление чувствительности динамического отклика на изменения переменных проектирования $\delta r_i / \delta x_j$
- Знание этих величин позволяет находить наиболее перспективные направления улучшения конструкции.
- Вывод коэффициентов чувствительности инициируется DSAPRT в Case Control Section
- Возможные типы анализа:
 - Анализ частотного отклика прямым методом
 - Анализ частотного отклика модальным методом
 - Анализ переходного процесса модальным методом

Описание “конструкторской” модели

- Определение связей *свойств* расчетной модели с переменными проектирования (DVPREL1, DVPREL2).
- Задание откликов, которые будут использоваться при оптимизации (DRESP1, DRESP2).
- Задание границ изменения откликов и, при необходимости, параметров проверки соблюдения ограничений (DCONSTR, DSCREEN).
- Назначение расчетных значений частоты и шага по времени в Case Control Section (OFREQ или OTIME).

Входной файл для ОПТИМИЗАЦИОННОЙ модели

● Executive и Case Control Section

- SOL 200
CEND
TITLE = Sample dynamic analysis model
set 999 = 358,471
DISP(phase) = 999
SUBCASE 1
 ANALYSIS = MFREQ
 DESSUB = 100 \$ constraints
 DESOBJ(min) = 300 \$ design objective - minimize driver's response
 DLOAD = 1
 METHOD = 1
 FREQ = 1

● Bulk Data Section

- BEGIN BULK
.
.
include 'car.blk'
include 'springs.blk'
include 'optim1.blk'
.
.
ENDDATA

Фрагмент файла CAR.BLK

- Задание динамического нагружения

- EIGRL,1,-1.0,100.
DLOAD,1,1.,1.,11,1.,12
RLOAD1,11,20,,,,111
RLOAD1,12,30,,,40,111
DPHASE 40 358 2 90.
DAREA 20 358 1 3.
DAREA 30 358 2 3.
TABLED4,111,0.,1.,0.,1000.
,0.,0.,39.478,ENDT
\$
\$ PLUS THE REST OF THE MODEL DESCRIPTION
\$

Фрагмент файла SPRINGS.BLK

● Задание упругих элементов (пружин)

```
● CROD 1002 1002 402 1402
CROD 1012 1001 825 1825
CROD 1022 1001 358 1358
CROD 1032 1002 869 1869
$
PROD 1001 1000 1000.
PROD 1002 1000 800.
$ select material so that value of PROD
$ is spring stiffness,
$ therefore, E = l = 10.
MAT1 1000 10.
```

● Задание демпферов (амортизаторов)

```
● $
$ add dampers for shock absorbers
$
$ front
cvisc 2011 2001 825 1825
cvisc 2021 2001 358 1358
$ back
cvisc 2001 2002 402 1402
cvisc 2031 2002 869 1869
$ damper properties
pvisc 2001 10. 0.
pvisc 2002 5. 0.
$
```

Фрагмент файла ОРТИМ.BLK

- Задание переменных проектирования

- ```
desvar,1,frntdamp,1.,.1,10.
desvar,2,reardamp,1.,.2,20.
desvar,3,frntstif,1.,.4,2.
desvar,4,rearstif,1.,.5,2.5
```

- Задание связей свойств с переменными проектирования

- ```
$  
$ relation between properties and variables  
$  
dvpres1,101,pvisc,2001,3,1.,.,.,+dv101  
+dv101,1,10.  
dvpres1,102,pvisc,2002,3,1.,.,.,+dv102  
+dv102,2,5.  
dvpres1,103,prod,1001,4,4.,.,.,+dv103  
+dv103,3,10.  
dvpres1,104,prod,1002,4,4.,.,.,+dv104  
+dv104,4,8.  
$
```

- Задание ограничений

- ```
$ require that maximum tire displacement be .5 inches
$
dconstr,101,200,-.5,.5
$
$ require that maximum driver displacement be .25 inches
$
dconstr,102,201,-.25,.25
```

- ```
$ combine constraints into set 100  
$  
dconadd,100,101,102
```

Фрагмент файла OPTIM.BLK

- **Задание откликов, используемых при оптимизации**

- ```
$ select displacement Y at driver seat and mount point as
$ response quantities
$
$ mount point
$
dresp1,200,disp,frdisp,,,2,,358
$
$ define driver's seat disp as a response
$
dresp1,201,driver,frdisp,,,2,,471
```

- **Задание целевой функции - величины “корня квадратного из суммы квадратов амплитуд” перемещения сиденья водителя в диапазоне 0,5-25 Гц**

- ```
dresp1,300,srss,frdisp,,,2,RSS,471
```

Пример №16

Оптимизация с использованием частотного отклика

Решение для Упражнения 16

```
$
$ input file to optimize (minimize) the response of a car to a
$ rotating imbalance - V68 - June, 1994
$ use modal approach - up to 100 hz
$
SOL 200
diag 8
CEND
TITLE = Sample dynamic analysis model
SUBTITLE = Rotating force due to tire out of balance
LABEL = perform optimization to minimize driver response
set 999 = 358,471
DISP(phase) = 999
SUBCASE 1
  ANALYSIS = MFREQ
  DESSUB = 100 $ constraints
  DESOBJ(min) = 300 $ design objective - minimize driver response
  DLOAD = 1
  METHOD = 1
  FREQ = 1
BEGIN BULK
eigr1,1,0.,100.
doptprm,desmax,25
include 'car.blk'
include 'springs.blk'
include 'optim1.blk'
param,post,0
$
```

```
$
$ DATA RELATED TO FREQUENCY RESPONSE
$
DLOAD 1 1. 1. 11 1. 12
RLOAD1 11 20 111
RLOAD1 12 30 40 111
DPHASE 40 358 2 90.
DAREA 20 358 1 3.
DAREA 30 358 2 3.
TABLED4 111 0. 1. 0. 100.
0. 39.478 ENDT
FREQ1 1 .5 .5 100
$
ENDDATA
```

Решение для Упражнения 16

```
$
$ springs.blk
$
CONM2 3001 1402 1.E8
CONM2 3002 1825 1.E8
CONM2 3003 1358 1.E8
CONM2 3004 1869 1.E8
$
GRID 1402 159.870 11.0000 -14.3750
13456
GRID 1358 20.6116 11.0000 -15.1000
13456
GRID 1825 20.6116 11.0000 -54.9000
13456
GRID 1869 159.870 11.0000 -55.6250
13456
$
CELAS2 1001 10000. 402 1 1402 1
CROD 1002 1002 402 1402
CELAS2 1003 10000. 402 3 1402 3
CELAS2 1011 10000. 825 1 1825 1
CROD 1012 1001 825 1825
CELAS2 1013 10000. 825 3 1825 3
CELAS2 1021 10000. 358 1 1358 1
CROD 1022 1001 358 1358
CELAS2 1023 10000. 358 3 1358 3
CELAS2 1031 10000. 869 1 1869 1
CROD 1032 1002 869 1869
CELAS2 1033 10000. 869 3 1869 3
$
$ properties for springs
$
PROD 1001 1000 1000.
PROD 1002 1000 800.
$ select material so that value of PROD is spring
stiffness,
$ therefore, E = 1 = 10.
MAT1 1000 10.
```

```
$
$ add dampers for shock absorbers
$ front
cvisc 2011 2001 825 1825
cvisc 2021 2001 358 1358
$ back
cvisc 2001 2002 402 1402
cvisc 2031 2002 869 1869
$ damper properties
pvisc 2001 10. 0.
pvisc 2002 5. 0.
$
$ end of springs.blk
$
```

Решение для Упражнения 16

```
⌘
⌘ file - car.blk
⌘
⌘ MODEL COURTESY LAPCAD ENGINEERING
⌘ CHULA VISTA, CALIFORNIA
⌘
GRID 1 79.0000 56.0000-2.00000
GRID 2 157.000 40.1000-1.30000
.
.
CQUAD4 29 2 22 19 12 21 0.00E+0 0.00E+0
CQUAD4 30 2 21 20 11 22 0.00E+0 0.00E+0
.
.
PSHELL 1 1 0.025 1
PSHELL 2 1 0.200 1
.
.
MAT1 11.000E+73.759E+63.300E-12.600E-41.370E-57.000E+1.3
⌘
⌘ end of car.blk
⌘
```

Решение для Упражнения 16

```
$
$   beginning of optim1.blk
$
$ data for design sensitivity
$
$ define design variables
$
desvar,1,frntdamp,1.,.1,10.
desvar,2,reardamp,1.,.2,20.
desvar,3,frntstif,1.,.4,2.
desvar,4,rearstif,1.,.5,2.5
$
$ relation between properties and variables
$
dvpres1,101,pvisc,2001,3,1.,.,.,.,+dv101
+dv101,1,10.
dvpres1,102,pvisc,2002,3,1.,.,.,.,+dv102
+dv102,2,5.
dvpres1,103,prod,1001,4,4.,.,.,.,+dv103
+dv103,3,10.
dvpres1,104,prod,1002,4,4.,.,.,.,+dv104
+dv104,4,8.
$
```

```
$
$   select displacement Y at tire and driver seat as
$   response quantities
$
$ maximum tire displacement be < +/-0.5 inches
$
dconstr,101,200,-.5,.5
dresp1,200,disp,frdisp,,2,,358
$
$ define driver's seat disp as a response
$
$ require that maximum driver displacement be < +/- 0.25 inches
$ between .5 and 25 hz
$
dconstr,102,201,-.25,.25,0.5,25.0
dresp1,201,driver,frdisp,,2,,471
$
$ combine constraints into set 100
$
dconadd,100,101,102
$
$ define objective = minimize srss of response
$
dresp1,300,rss,frdisp,,2,rss,471
$
$ end of optimization input
$
$ end of                optim1.blk
$
```

Решение для Упражнения 16

 SUMMARY OF DESIGN CYCLE HISTORY

(HARD CONVERGENCE ACHIEVED)

NUMBER OF FINITE ELEMENT ANALYSES COMPLETED 12
 NUMBER OF OPTIMIZATIONS W.R.T. APPROXIMATE MODELS 11

OBJECTIVE AND MAXIMUM CONSTRAINT HISTORY

CYCLE NUMBER	OBJECTIVE FROM APPROXIMATE OPTIMIZATION	OBJECTIVE FROM EXACT ANALYSIS	FRACTIONAL ERROR OF APPROXIMATION	MAXIMUM VALUE OF CONSTRAINT
INITIAL		3.647436E+00		2.826703E+00
1	2.640353E+00	2.399954E+00	1.001683E-01	9.228326E-01
2	1.658403E+00	1.537590E+00	7.857257E-02	2.247965E-02
3	1.389128E+00	1.391356E+00	-1.601416E-03	-1.046517E-01
4	1.282846E+00	1.279215E+00	2.838736E-03	-2.554596E-01
5	1.200664E+00	1.198053E+00	2.180001E-03	-3.806659E-01
6	1.145264E+00	1.143693E+00	1.373463E-03	-4.851830E-01
7	1.112429E+00	1.111939E+00	4.413774E-04	N/A
8	1.105517E+00	1.105857E+00	-3.076557E-04	N/A
9	1.101536E+00	1.102039E+00	-4.564840E-04	N/A
10	1.099467E+00	1.100046E+00	-5.262330E-04	N/A
11	1.099043E+00	1.099640E+00	-5.437721E-04	N/A

Решение для Упражнения 16

1 SAMPLE DYNAMIC ANALYSIS MODEL APRIL 5, 2001 MSC.NASTRAN 3/27/01 PAGE 345
 0 ROTATING FORCE DUE TO TIRE OUT OF BALANCE
 PERFORM OPTIMIZATION TO MINIMIZE DRIVER RESPONSE SUBCASE 1

DESIGN VARIABLE HISTORY

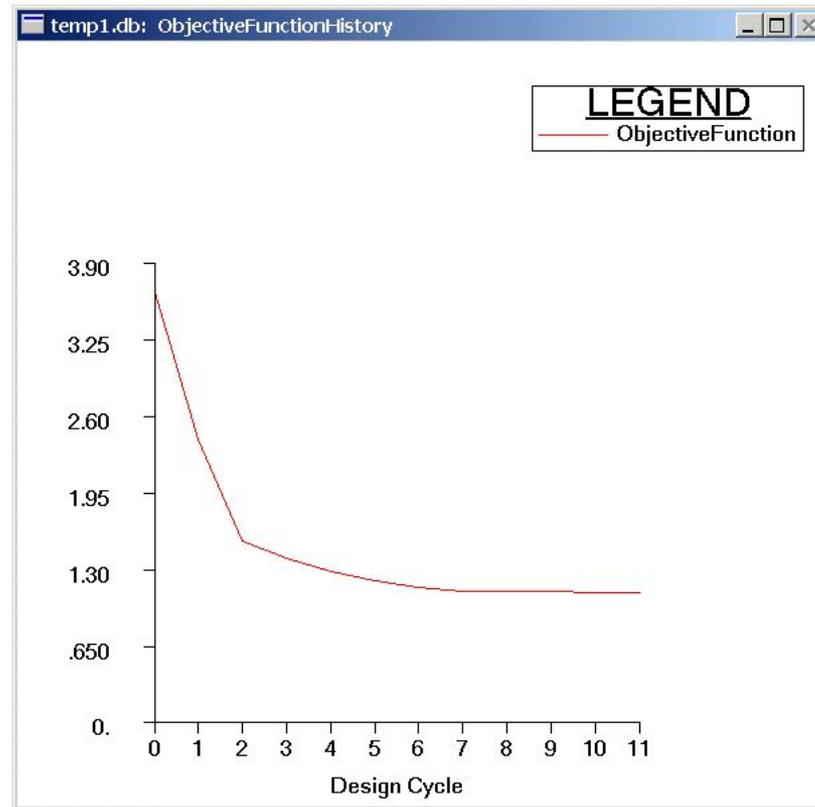
INTERNAL DV. ID.	EXTERNAL DV. ID.	LABEL	INITIAL	1	2	3	4	5
1	1	FRNTDAMP	1.0000E+00	2.0000E+00	4.0000E+00	4.8000E+00	5.7671E+00	6.9205E+00
2	2	REARDAMP	1.0000E+00	2.0000E+00	2.7014E+00	2.1608E+00	2.5929E+00	3.1115E+00
3	3	FRNTSTIF	1.0000E+00	1.6481E+00	1.7079E+00	1.7008E+00	1.6821E+00	1.6786E+00
4	4	REARSTIF	1.0000E+00	5.0000E-01	5.0000E-01	5.0000E-01	5.0000E-01	5.0000E-01

INTERNAL DV. ID.	EXTERNAL DV. ID.	LABEL	6	7	8	9	10	11
1	1	FRNTDAMP	8.3046E+00	9.9655E+00	1.0000E+01	1.0000E+01	1.0000E+01	1.0000E+01
2	2	REARDAMP	3.7338E+00	4.4806E+00	5.3767E+00	6.4521E+00	7.7425E+00	9.2910E+00
3	3	FRNTSTIF	1.6771E+00	1.6762E+00	1.6753E+00	1.6741E+00	1.6718E+00	1.6660E+00
4	4	REARSTIF	5.0000E-01	5.0000E-01	5.0000E-01	5.0000E-01	5.0000E-01	5.0000E-01

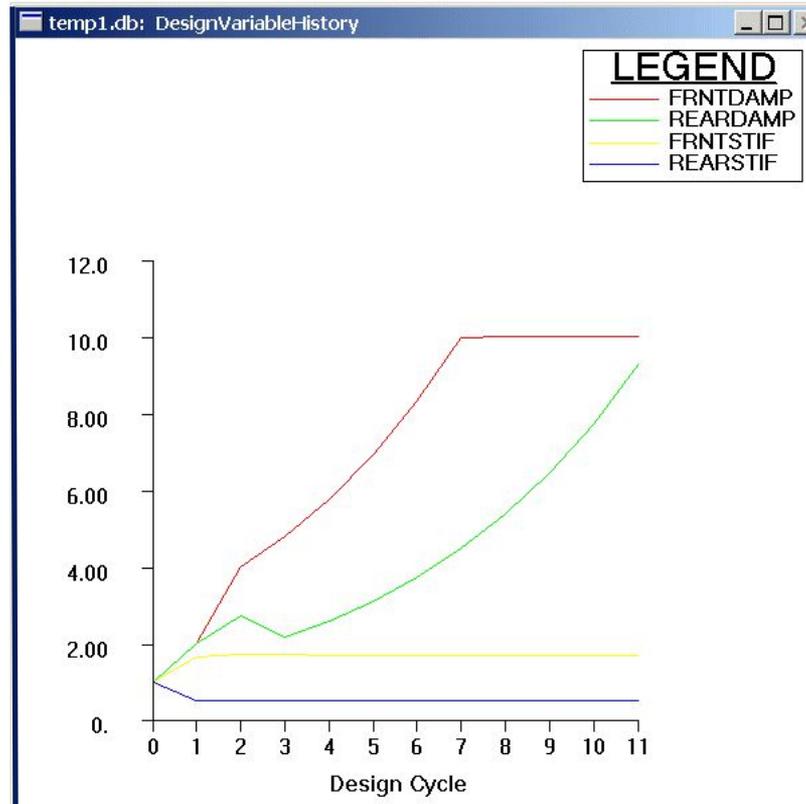
Результаты решения задачи ОПТИМИЗАЦИИ

- Решение получено за 11 шагов.
- Результаты решения:

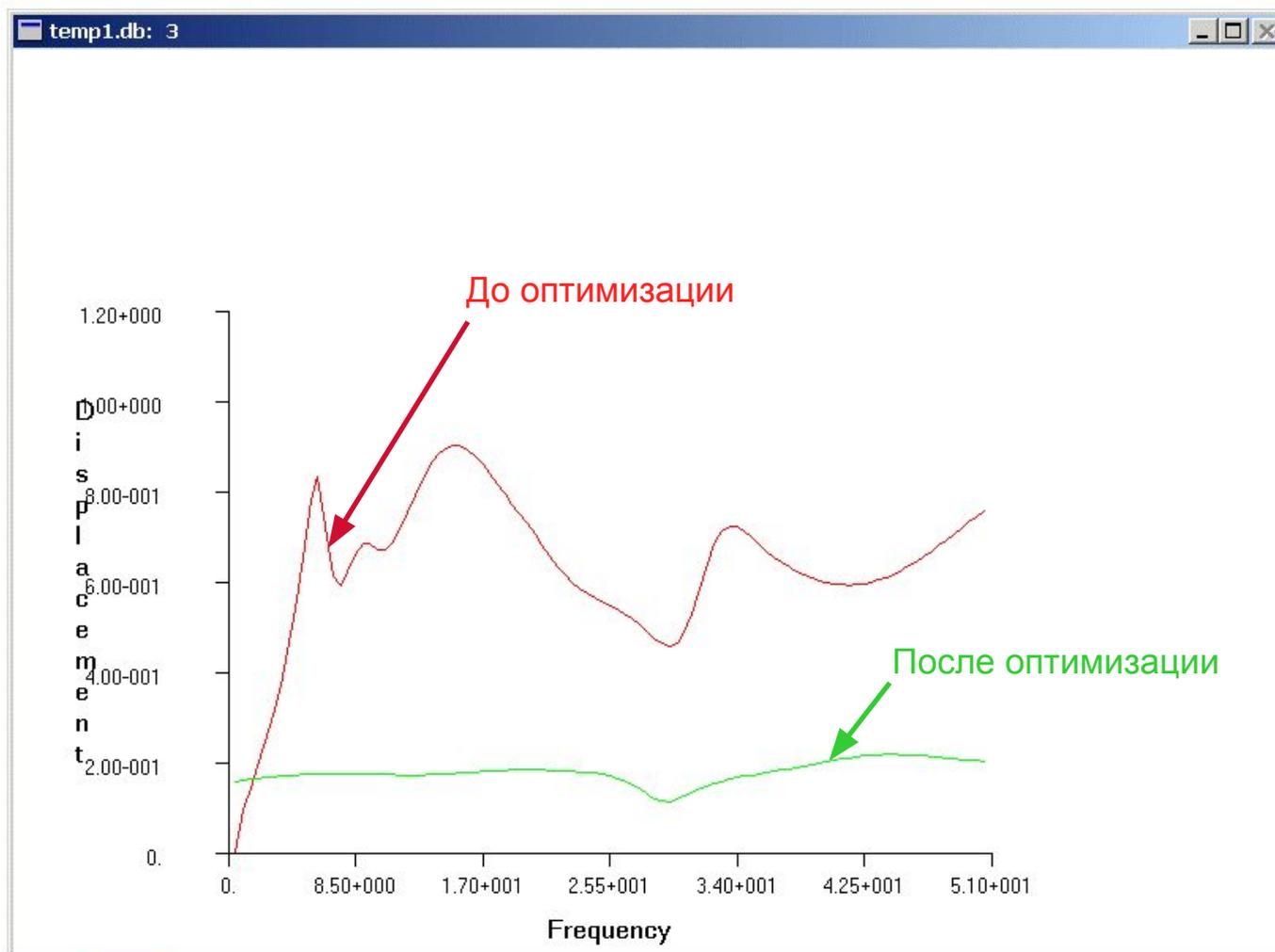
История целевой функции



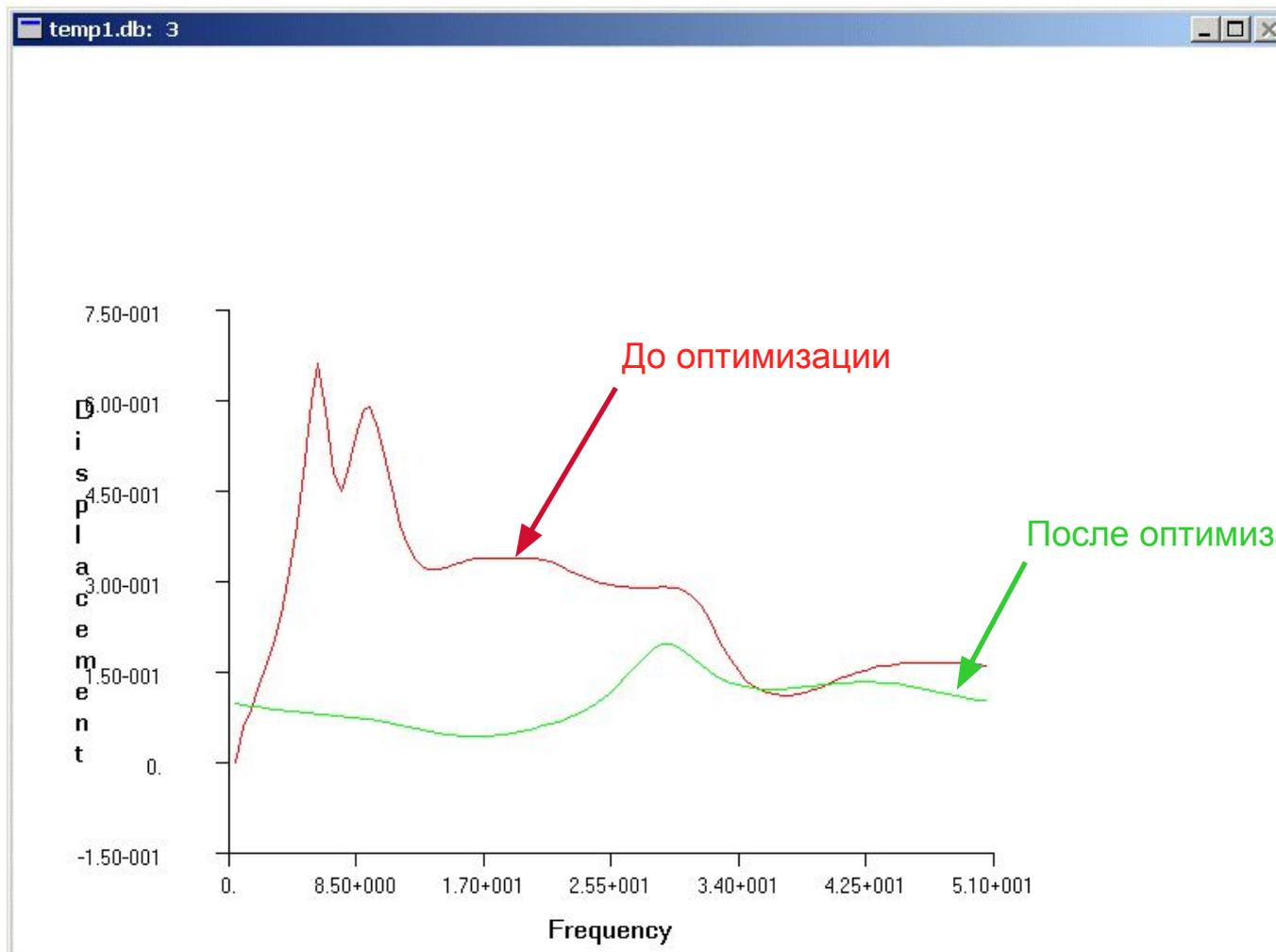
История переменных проектирования



Перемещение колеса



Перемещение сиденья водителя



Заключение

- С минимальными усилиями конструкция модифицируется с целью удовлетворения заданным требованиям и минимизации указанного динамического параметра.
- SOL 200 – ценный инструмент динамического анализа.

NAS102

Декабрь 2001, Стр. 19-48
MSC Moscow

