

УДК 004.4

ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ РАСЧЕТЫ В ANSYS С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМАНДНОГО ФАЙЛА ПРИ ОБУЧЕНИИ СТУДЕНТОВ И МАГИСТРАНТОВ

Напрасников Владимир Владимирович, к. т. н., доцент,

Ковалева Ирина Львовна, к. т. н., доцент,

Полозков Юрий Владимирович, к. т. н., доцент,

Ван Цзыжуй, аспирант

Белорусский национальный технический университет, Минск

e-mail: n.v.v@tut.by

OPTIMIZATION CALCULATION IN ANSYS USING A COMMAND FILE WHEN TEACHING STUDENTS AND UNDERGRADUATES

Аннотация: Одним из возможных подходов при формировании оптимизационной модели в среде является использование встроенного языка APDL. При обучении студентов и магистрантов на специальностях, связанных с разработкой программного обеспечения, предпочтителен именно такой подход. Приведен пример использования построения командного файла в реальном учебном процессе на демонстрационной задаче.

Ключевые слова: оптимизационная модель язык APDL, обучение студентов, ANSYS.

Abstract: One of the possible approaches to creating an optimization model in the environment is to use the built-in APDL language. When teaching students and undergraduates in specialties related to software development, this approach is preferable. An example of using the creation of a command file in a real educational process on a demonstration task is given.

Keywords: optimization model, APDL, student training, ANSYS.

Введение. Программа ANSYS располагает возможностями не только для однократного расчета конструкции, но и для поиска ее оптимального варианта (оптимального проекта). При этом, согласно [6-12] оптимальным является проект, отвечающий всем предъявляемым требованиям и имеющий минимальные значения определенных показателей, таких как вес, площадь поверхности, объем, напряжения, собственные частоты и т. п.

Оптимизация в ANSYS. В ANSYS доступны различные методы и средства оптимизации. Следует сразу указать разницу между ними. Методы оптимизации (methods) обеспечивают оптимизацию целевой функции путем варьирования входных параметров. Средства оптимизации (tools) обеспечивают получение нескольких наборов выходных параметров (целевая

функция, переменные состояния) при изменении входных параметров по заданному закону, оптимизацию целевой функции они не производят.

Перед описанием методики оптимизации проекта в ANSYS, необходимо определить некоторые термины, используемые в ANSYS.

Переменные проекта (design variables) – это параметры, которые изменяются с целью нахождения оптимального проекта. Для переменных проекта указываются ограничения – минимальное и максимальное значения. Эти значения определяют диапазон изменения переменных проекта. Переменными проекта обычно являются геометрические параметры, такие как длина, толщина, диаметр или координаты точек. Переменные проекта могут принимать только положительные значения.

Переменные состояния (state variables) – это параметры, на которые наложены ограничения для проекта. Они также называются зависимыми переменными. Как правило, они представляют собой параметры отклика, являющиеся функциями переменных проекта. Переменные состояния могут быть ограничены максимальным и минимальным значениями или иметь только одно из этих ограничений. Примерами переменных проекта являются напряжения, температуры, скорости тепловых потоков, собственные частоты, деформации. Однако, переменная состояния не обязательно должна быть вычисляемой величиной, в качестве переменной состояния может быть указан любой параметр.

Целевая функция (objective) – это зависимая переменная, которую требуется минимизировать. Она должна быть функцией переменных проекта, т. е. изменение значений переменных проекта должно изменять значение целевой функции. В оптимизационной задаче может быть определена только одна целевая функция.

Переменные проекта, переменные состояния и целевая функция обобщенно называются переменными оптимизации (optimization variables). Пользователь должен указать, какие параметры в модели являются переменными проекта, переменными состояниями, и целевой функцией.

Набор параметров проекта, или проект (design set, design) – это набор значений параметров, представляющих какую-либо конфигурацию модели. Как правило, набор параметров проекта характеризуется значениями переменных оптимизации, однако в него включаются все параметры модели, в том числе и те, которые не являются переменными оптимизации.

Возможный проект (feasible design) – это проект, удовлетворяющий всем указанным ограничениям на переменные состояния и переменные проекта. Если хотя бы одно из ограничений не соблюдается, проект называется невозможным (infeasible design).

Наилучший проект (best design) – тот, который удовлетворяет всем ограничениям и обеспечивает минимальное значение целевой функции. Если все проекты являются невозможными, наилучшим является проект, наиболее близкий к тому, чтобы быть возможным, вне зависимости от значения целевой функции.

Методы оптимизации производят минимизацию целевой функции. В программе доступны два метода: метод аппроксимации (subproblem approximation method) и метод первого порядка (first order method). Метод аппроксимации – это метод нулевого порядка, обеспечивающий эффективное решение большинства конструкторских задач. Метод первого порядка основан на оценке чувствительности проекта к изменению определенных факторов и более подходит для решения задач, требующих высокой точности.

Кроме того, пользователь может применить другой оптимизационный алгоритм, в этом случае алгоритм ANSYS будет пропущен.

Как при использовании метода аппроксимации, так и метода первого порядка, программа выполняет серию итераций. В течение каждой итерации выполняется расчет начального проекта, оценивается соответствие результатов расчета определенным критериям качества и, при необходимости, осуществляется изменение проекта. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не будут выполнены определенные условия.

Переменные состояния и ограничения на переменные проекта используются, чтобы ограничить изменения в проекте и приводят к оптимизационной задаче с ограничениями. ANSYS преобразует эту задачу в оптимизационную задачу без ограничений. При проведении оптимизации по каждому из методов, программа учитывает ограничения, наложенные на переменные состояния, добавляя к целевой функции штрафные функции.

К сожалению, в последних версиях ANSYS разработчики исключили ранее присутствовавший там пункт Design Opt из меню Main Menu, где удобно было работать с компонентами оптимизационной модели в диалоговом режиме.

В тоже время, команды процессора Opt хотя и не документированы, но доступны по-прежнему (такие как OPVAR, OPTYPE, OPANL, OPXHE). Описание этих команд присутствуют, например в 10 и 11 версиях. Поэтому остается возможность использовать командный файл для создания оптимизационной модели и поиска оптимального решения.

Целесообразность использования языка APDL при обучении. При обучении студентов и магистрантов на специальностях, связанных с разработкой программного обеспечения, предпочтителен подход, опирающийся на использование языка APDL [1-5]. В этом случае обучающиеся, во-первых, реализуют навыки программирования, полученные ими ранее при изучении других языков и технологий программирования, и, во-вторых, изучают новый язык программирования. С помощью APDL обучающиеся могут разработать и настроить расчетную модель для заданной технической системы. Также с помощью командного файла можно расширить набор методов, используемых для оптимизации.

Рассмотрим реализацию предлагаемого подхода на демонстрационной задаче, расчетная схема для которой представлена на рисунке 1. К шарнирно опертой балке приложена сила 2000 Н. Целью оптимизации является

минимизация веса (объема) балки без превышения допустимого напряжения в ее материале. Для этого требуется отыскать оптимальные параметры поперечного сечения балки, однако ширина и высота поперечного сечения балки не могут быть меньше 10 мм. Максимальное напряжение в любой точке балки не должно превышать 200 МПа. Сталь, из которой изготовлена балка, обладает следующими характеристиками: модуль упругости равен 200 ГПа, коэффициент Пуассона равен 0.3.

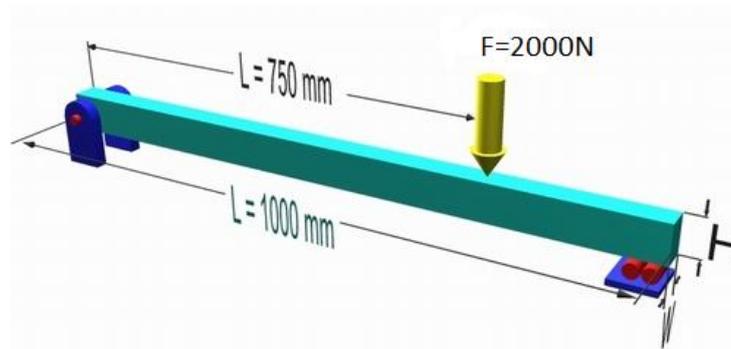


Рис. 1. Расчетная схема

Для решения этой задачи на первом этапе с использованием языка APDL создаем расчетную модель.

Вид командного файла представлен ниже.

```

/BATCH
/TITLE, Design Optimization
W = 0.02 !width
H = 0.02 !height
/PREP7
K, 1,0,0, ,
K, 2,1,0, ,
L, 1, 2
HPTCREATE, LINE, 1, 0, RATIO, 0.75,
ET, 1, BEAM3 !set type
!W*H - cross-sectional area
!W*H**3)/12 - area moment of inertia
!H - total beam height
R, 1, W*H, (W*H**3)/12, H, , , ,
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP, 1, 0
MPDATA, EX, 1, , 200e9 !модуль упругости
MPDATA, PRXY, 1, , 0.3 !коэффициент Пуассона
LESIZE, ALL, 0.1, , , , 1, , , 1,
LMESH, ALL
FINISH
/SOL
/GO

```

```

DK, 1, , , , 0, UX, UY, , , , ,
DK, 2, , , , 0, UY, , , , ,
FK, 3, FY, -2000
SOLVE
FINISH
/POST1
AVPRIN, 0, ,
ETABLE, EVolume, VOLU,
SSUM
!получение объема балки в качестве параметра
*GET, Volume, SSUM, , ITEM, EVolume,
!создание таблицы максимальных напряжений в узле I
AVPRIN, 0, ,
ETABLE, SMax_I, NMISC, 1
ESORT, ETAB, SMax_I, 0, 1, ,
!получение максимального напряжения в узле I
*GET, SMaxI, SORT, , MAX
!создание таблицы максимальных напряжений в узле J
AVPRIN, 0, ,
ETABLE, SMax_J, NMISC, 3
ESORT, ETAB, SMax_J, 0, 1, ,
!получение максимального напряжения в узле J
*GET, SMaxJ, SORT, , MAX
*SET, SMAX, SMAXI>SMAXJ

```

После выполнения этого файла следует проверить, что среди скалярных параметров появились SMAX, Volume, W и H.

Теперь можно перейти к настройке оптимизационной модели. Это выполняется следующим образом

```

! Сохранение файла
LGWRITE,'MyResults','ans','G:\ansys7\results'
! Вход в модуль оптимизации
/OPT
! Открытие файла задачи для оптимизации
OPANL,'MyResults','ans','G:\ansys7\results'
!+++++
! Задание параметров оптимизации !
! ПЕРВОЕ: Задание переменных проекта DV's!
OPVAR, W, DV, 0.01, 0.05, 0.00001,
OPVAR, H, DV, 0.01, 0.05, 0.00001,
! ВТОРОЕ: Задание переменных состояния SV's!
! Задание изменения границ максимальных напряжений
OPVAR, SMAX, SV, 195e6, 200e6, 0.001e6,
! ТРЕТЬЕ: Задание целевой функции OV
! В нашем случае это объем материала Volume

```

```

OPVAR, Volume, OBJ, , , ,
!+++++
! ЧЕТВЕРТОЕ: Выбираем МЕТОД
! Метод квадратичной аппроксимации
OPTYPE, SUBP      ! Выбор метода решения задачи оптимизации
OPSUBP, 30, 10,   ! Параметры этого метода
OPEQN, 1, 1, 1,1,1, ! Квадратичные и перекрестные члены учтены
                   ! для целевой функции (первый параметр равен 0)
                   ! Квадратичные и перекрестные члены учтены
                   ! для переменных состояния (второй параметр равен 3)
! Команда на запуск оптимизации
OPEXE
+++++
! Вывод результатов в текстовом виде
OPLIST, ALL, , 0
! Вывод результатов в графическом виде
PLVAROPT, W
PLVAROPT, H
PLVAROPT, SMAX
PLVAROPT, Volume

```

Например, в соответствии с командой OPLIST, ALL получим наборы, представленные на рисунке 2. Символом “*” отмечен наилучший набор параметров.

OPLIST Command					
File					
LIST OPTIMIZATION SETS FROM SET 1 TO SET 14 AND SHOW ONLY OPTIMIZATION PARAMETERS. (A "*" SYMBOL IS USED TO INDICATE THE BEST LISTED SET)					
		SET 1	SET 2	SET 3	SET 4
		(INFESIBLE)	(FEASIBLE)	(FEASIBLE)	(FEASIBLE)
SMAX	(SV)	> 0.28125E+09	0.19898E+09	0.19948E+09	0.19959E+09
H	(DV)	0.20000E-01	0.22946E-01	0.23267E-01	0.23263E-01
H	(DV)	0.20000E-01	0.21476E-01	0.20836E-01	0.20832E-01
VOLUME	(OBJ)	0.40000E-03	0.49279E-03	0.48479E-03	0.48460E-03
		SET 5	SET 6	SET 7	SET 8
		(FEASIBLE)	(FEASIBLE)	(FEASIBLE)	(FEASIBLE)
SMAX	(SV)	0.19599E+09	0.19943E+09	0.19962E+09	0.19973E+09
H	(DV)	0.23930E-01	0.24348E-01	0.24341E-01	0.24338E-01
H	(DV)	0.20048E-01	0.19031E-01	0.19025E-01	0.19018E-01
VOLUME	(OBJ)	0.47975E-03	0.46337E-03	0.46308E-03	0.46286E-03
		SET 9	SET 10	SET 11	SET 12
		(FEASIBLE)	(FEASIBLE)	(FEASIBLE)	(FEASIBLE)
SMAX	(SV)	0.19981E+09	0.19988E+09	0.19991E+09	0.19974E+09
H	(DV)	0.24351E-01	0.25393E-01	0.25971E-01	0.28033E-01
H	(DV)	0.18991E-01	0.17458E-01	0.16687E-01	0.14334E-01
VOLUME	(OBJ)	0.46245E-03	0.44331E-03	0.43338E-03	0.40183E-03
		SET 13	*SET 14*		
		(FEASIBLE)	(FEASIBLE)		
SMAX	(SV)	0.19987E+09	0.19994E+09		
H	(DV)	0.28032E-01	0.28032E-01		
H	(DV)	0.14326E-01	0.14321E-01		
VOLUME	(OBJ)	0.40159E-03	0.40145E-03		

Рис. 2. Варианты проектов, полученных в ходе оптимизации

Заключение. Использование предлагаемого подхода дает возможность преподавателям разрабатывать интересные и актуальные задания для подготовки специалистов широкого профиля, адаптированных под реальные производственные задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Напрасников В. В., Напрасникова Ю. В., Соловьев А. Н., Скалиух А. С. Построение конечно-элементной модели на основе языка APDL. Учебно-методическое пособие – Минск: БНТУ, 2009. –51 с.
2. Напрасников В. В., Напрасникова Ю. В., Соловьев А. Н., Скалиух А. С. Создание конечно-элементной модели для расчета контейнера в процессе прессования порошковой заготовки: Лабораторный практикум – Минск: БНТУ, 2008. – 89 с.
3. Напрасников В.В., Бородуля А.В., Кочуров В.А. Конечно-элементное моделирование в ANSYS в режиме удаленного доступа к суперкомпьютеру «СКИФ» Учебно-методическое пособие – Минск: БНТУ, 2008. –65 с.

4. Напрасников В.В., Напрасникова Ю.В., Соловьев А.Н., Скалиух А.С. Моделирование колебаний рамной конструкции на основе метода конечных элементов. Учебно-методическое пособие – Минск: БНТУ, 2010. –43 с.
5. ANSYS. Basic Analysis Procedures Guide. Rel. 5.3. / ANSYS Inc. Houston, 1994.
6. ANSYS. Commands Reference. Rel. 5.3. / ANSYS Inc. Houston, 1994.
7. ANSYS. Elements Reference. Rel. 5.3. / ANSYS Inc. Houston, 1994.
8. ANSYS. Theory Reference. Rel. 5.3. Ed. P. Kothnke / ANSYS Inc. Houston, 1994.
9. ANSYS. Verification Manual. Rel. 5.3. / ANSYS Inc. Houston, 1994.
10. ANSYS 5.7 Theory Reference. ANSYS Inc., 2001.
11. ANSYS 5.7 Advanced Analysis Techniques Guide. ANSYS Inc., 2001.
12. Сергейкин О.А. обзор оптимизационных возможностей программы ANSYS. <http://sergeykin.hotbox.ru>

УДК 004

ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ КОМАНДНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ НАД ПРОЕКТАМИ

Ошуковская Ольга Эдуардовна, магистрант, ассистент
Ковалева Ирина Львовна, к.т.н., доцент
Белорусский Национальный технический университет
olga.oshukovskaya99@gmail.com

APPROACHES TO ORGANIZING STUDENTS' COLLECTIVE WORK ON PROJECTS

Аннотация: Работа посвящена созданию и разработке собственной внутривузовской системы для организации студенческих коммуникаций. Проанализированы преимущества и недостатки имеющихся аналогов. Одной из характерных проблем существующих систем является их сложность и специфичность для учебных целей. Для их решения был осуществлён обзор подходов построения командной работы студентов на примере выполнения курсового или дипломного проектирования.

Abstract: The work is devoted to the creation and development of own intra-university system of the organization of student communications. The advantages and disadvantages of available analogues are analyzed. One of the problems with existing systems is their complexity and specificity for educational purposes. For their solution, a review of the approaches to students teamwork building on the example of course or diploma design.

Ключевые слова: организация обучения, командная работа, типология disc, разработка системы