

Самойленко Наталья Эдуардовна

канд. техн. наук, доцент

Поленова Наталья Александровна

магистрант

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет»

г. Воронеж, Воронежская область

DOI 10.21661/r-113055

ПОДДЕРЖКА ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В САПР

Аннотация: в данной статье рассматриваются вопросы автоматизированного проектирования РЭС специального назначения, включая процедуры 3D-моделирования, многовариантного анализа и оптимизации конструкции на основе применения САПР. Выбор среды проектирования ProEngineer обусловлен её характеристиками как системы верхнего уровня, информационно совместимой с наиболее перспективными САПР, а также широким набором функций по анализу и оптимизации конструкции.

Ключевые слова: САПР, оптимизация, моделирование, проектирование, макромодель.

Для выполнения конечноэлементного анализа конструкции используется комплекс математических моделей, автоматически создаваемых модулем Mechanics в процессе формирования 3D-модели конструкции. Для реализации оптимального проектирования разработано математическое обеспечение, в которое входят: математическая постановка задачи структурной оптимизации, комплекс моделей параметрической оптимизации для каждого варианта конструкции и комплекс алгоритмов, реализующих методику оптимального проектирования [1].

Оптимизация конструкции в программе ProEngineer предполагает использование двух оптимизационных процедур: последовательное квадратичное про-

граммирование (SQP) и метод проекции градиента (GDP). После того как сформирована математическая постановка оптимизационной задачи (то есть выбраны критерии и сформированы ограничения) проектировщику предоставляется возможность выбора метода, либо он может произвести оптимизацию в автоматическом режиме.

В автоматическом режиме ProEngineer по умолчанию использует метод SQP. Однако, если в процессе поиска оптимального решения возникает проблемная вычислительная ситуация (некорректная математическая операция, например, деление на ноль или невозможности получения улучшенного решения с требуемой точностью) происходит автоматическое переключение с алгоритма SQP на алгоритм GDP и поиск оптимального решения продолжается [2].

Последовательное квадратичное программирование (SQP) используется для того чтобы быстро найти оптимальную конструкцию. Недостаток метода оценки последовательного квадратичного отклонения состоит в том, что данный метод не дает гарантии соответствия конструкции установленным пределам в конце каждой итерации, то есть возможен выход за границы области работоспособности $XP = G$ в процессе поиска (аналог метода штрафных функций). Однако, если при использовании алгоритма SQP не удастся найти оптимальную конструкцию, то в распоряжении проектировщика может не оказаться ни одного варианта, удовлетворяющего ограничениям (требованиям ТЗ), усовершенствованного относительно начального варианта конструкции.

Метод проекции градиента (GDP) используется в том случае, если скорость поиска не слишком важна и требуется обеспечить доступность промежуточных конструкций для анализа проектировщика. GDP формирует серию промежуточных конструкций, удовлетворяющим ограничениям оптимизационной задачи. При этом вся траектория поиска находится внутри области работоспособности, то есть удовлетворяет требованиям ТЗ (аналог барьерных функций) и позволяет создать серию промежуточных конструкций, удовлетворяющих пределам при приближении к цели.

SQP метод является одним из самых современных методов в области нелинейного программирования. Данный метод позволяет достаточно точно имитировать метод Ньютона для оптимизации при наличии ограничений, как это сделано для оптимизации без наличия ограничений. На каждой основной итерации осуществляется аппроксимация Гессиана для функций Лагранжа при помощи квазиньютоновского модифицированного метода. Такой подход далее будет востребован для постановки подзадачи QP, решение которой далее уже используется для формирования направления поиска в процедуре линейного поиска

В отличие от решения методом SQP для задач без ограничений, нелинейные задачи при наличии ограничений решаются за некоторое число итераций. Одной из причин такого факта является то, что, вследствие наличия ограничений, проектировщик должен принимать относительно направлений поиска и размера шага.

Реализация метода SQP состоит из трех основных стадий:

- корректировка матрицы Гессе для Лагранжевой функции;
- решение задачи квадратичного программирования;
- вычисление линейного поиска и функции выгоды;
- корректировка матрицы Гессе.

Такой подход обеспечивает существенный вклад от ограничения с небольшими параметрами в значения штрафных параметров, что особенно актуально для активных ограничений вблизи точки решения.

Апробация предложенной методики проведена в процессе разработки корпуса преобразователя напряжения.

Оптимизация конструкции состоит из трех этапов:

- оптимизация конструкции крышек корпуса;
- оптимизация конструкции вставок-радиаторов;
- оптимизация теплового режима.

В процессе разработки конструкции с помощью программы ProEngineer Wildfire 5.0 решались три вида оптимизационных задач: структурная оптимизация, глобальная чувствительность и оптимизация [3].

В качестве структурной оптимизации производилось увеличение количества ребер вставок-радиаторов, и создавались дополнительные ребра жесткости в крышках корпуса (2 и 4 ребра). Задачу структурной оптимизации можно представить в математическом виде:

$$K = \{K_1; K_2; K_3; K_4\} \quad 3.19$$

K_1 – вариант крышки корпуса с двумя ребрами жесткости;

K_2 – вариант крышки корпуса с четырьмя ребрами жесткости;

K_3 – вариант вставки-радиатора с семнадцатью ребрами;

K_4 – вариант вставки-радиатора с девятью ребрами.

Также в процессе разработки выполнялись задачи по оптимизации конструкции, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Оптимизационные задачи

Задача	Ограничение	Переменные
Минимизировать перемещения в крышке корпуса	Максимальное напряжение	– толщина ребер жесткости; – высота ребер жесткости; – радиус скругления ребер жесткости.
Минимизировать напряжения во вставке-радиаторе	Максимальное напряжение	– радиус скругления кромок радиатора; – радиус скругления впадин радиатора; – радиус скругления боковых ребер.

Суть оптимизации заключалась в минимизации перемещений в крышке, возникающих под воздействием внешнего давления. Для уменьшения перемещений был проведен анализ глобальной чувствительности при изменении толщины крышки.

Результаты оптимального проектирования четырех вариантов конструкции показали, что все они способны выдержать требуемое давление и имеют запас прочности.

Прочностные показатели трех полученных в результате оптимизации вариантов конструкций находятся примерно на одном уровне. Однако, по массе эти конструкции значительно различаются. Оптимальной является конструкция утолщенной крышки, так как она легче остальных конструкций и проще в производстве, следовательно, ее себестоимость будет ниже.

Вставки-радиаторы также нуждались в дальнейшей доработке и оптимизации. Так как максимальные напряжения возникают на острых кромках радиатора, введены дополнительные скругления острых граней.

Критерием качества задана минимизация напряжений в модели, а ограничением максимальное напряжение. Так как данная модель корпуса имеет циклическую симметрию, и оптимизационная проработка конструкции требует достаточно много аппаратных ресурсов и времени на решение задачи, была создана секторная макромодель корпуса, то есть «вырезана» часть корпуса для дальнейшего проведения анализа.

Анализ макромодели занял около 30 минут, что в 8 раз меньше времени, затрачиваемого на исследование полной модели. Потери точности расчета при этом не происходит.

Несмотря на то, что результаты теплового анализа, проведенного в программе ProEngineer, показали, что тепловой режим работы устройства не нуждается в дальнейшей проработке, тем не менее, в данной работе разработан алгоритм оптимизации теплового режима.

Оптимизация теплового режима ставилась, как задача анализа глобальной чувствительности. Таким образом, предложена и апробирована методика оптимального проектирования, работоспособность которой подтверждена ее успешным использованием при проектировании преобразователя напряжения.

Предложенная методика отличается использованием структурных макромоделей, выполнением законченных процедур структурной и параметрической оптимизации.

Список литературы

1. Семенов Б.Ю. Импульсная силовая техника для любителей и профессионалов [Текст] / Б.Ю. Семенов. – М.: Радио и связь, 1996. – 336 с.
2. Глинских А.А. Мировой рынок CAD/CAM/CAE-систем [Текст] / А.А. Глинских. – М.: Компьютер Информ, 2002. – 248 с.

3. Самойленко Н.Э. Принципы построения подсистем программной поддержки принятия решений в задачах автоматизации конструкторско-технологического проектирования РЭС и обучения пользователей САПР [Текст] / Н.Э. Самойленко, Л.С. Очнева // Радиотехника. – М., 2012. – №2. – С. 60–64.