

ПОДХОДЫ К ОПТИМАЛЬНОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ КОНСТРУКЦИЙ

Абражевич Д.С., Алли. А.Ш.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Пискун Г.А. – канд.техн.наук, доцент

В данной статье рассмотрены традиционные и современные подходы к оптимальному проектированию конструкций. Дана характеристика CAD/CAE/CAO систем.

Теория оптимального проектирования зародилась ещё в древности [1], когда наши предки опытным путем находили оптимальные характеристики оружия. В средние века решалась задача Галилея, где рассматривалось проектирование равнопрочных конструкций. Однако, как самостоятельная научная область, теория оптимального проектирования сформировалась во второй половине XX века. Пик работ по оптимальному проектированию приходится на 70е – 80е годы XX века.

Так, В Прагер (1977) в своей книге «Основы теории оптимального проектирования» [2] рассматривает, в основном, оптимизацию ферменных конструкций. Н. В. Баничук рассматривает более широкий класс задач, включающий оптимизацию стержней, пластин и оболочек [3] и оптимизацию форм упругих тел [4], много внимания при этом уделяя различным вариационным формулировкам задач оптимизации и численным методам их решения. Ю. М. Почтман и З. И. Пятигорский рассматривают задачи оптимизации стержней и пластин с помощью методов линейного и нелинейного программирования [5]. Вопросами оптимального проектирования конструкций (как правило, на примере стержней, пластин, оболочек) также серьезно занимались М.И. Рейтман и Г. С. Шапиро [6].

Сегодня оптимальное проектирование развивается в двух направлениях. С одной стороны, во многом благодаря развитию численных методов решения задач механики сплошной среды, при оптимизации конструкций активно стали использовать такие методы, как топологическая оптимизация, топографическая оптимизация и др. С другой стороны, когда мы говорим об оптимальном проектировании современных промышленных изделий, представляющих собой сложные сборки и подверженных одновременному (или поочередному) действию нагрузок различной природы, то на первый план выходят численные методы компьютерного моделирования и оптимизации, реализованные в компьютерных инженерных системах.

В первую очередь это CAD (Computer-Aided Design), CAE (Computer-Aided Engineering), CAO (Computer-Aided Optimization) системы, а также CAM (Computer-Aided Manufacturing) системы. CAD системы позволяют построить пространственную геометрическую модель объекта практически любой сложности. CAE системы позволяют смоделировать поведение конструкции при воздействии статических и динамических нагрузок различной природы, и во многих случаях, отказаться от использования упрощенных инженерных методик. CAO системы, использующие лучшие достижения в области методов оптимизации, позволяют подобрать оптимальные параметры конструкций для улучшения их эксплуатационных характеристик. CAM системы позволяют смоделировать процесс изготовления изделия и оптимизировать этот процесс.

Сегодня, использование CAD/CAE/CAO систем на предприятии, как правило, происходит в рамках подхода, который, условно, можно назвать «традиционным» (Рисунок 3).



Рисунок 3 – Традиционный подход к проектированию конструкций

В традиционном подходе к разработке конструкции, инженер-конструктор, исходя из эксплуатационных нагрузок и ограничений, придумывает концепцию будущей конструкции. Далее, с помощью оцифровки, эта конструкция превращается в CAD модель, по которой затем создается прототип изделия. Этот прототип подвергается натурным испытаниям. Параллельно создается расчетная CAE модель, которая верифицируется путем сравнения с результатами натурных испытаний, и, в дальнейшем, может использоваться для проверки тех случаев нагружения, которые нельзя воспроизвести в натурных испытаниях. В случае неудовлетворения каким-либо ограничениям, в том числе, и технологическим, модель вместе с рекомендациями по модификации возвращается конструктору.

Очевидно, что в традиционном подходе основную роль играют опыт и интуиция специалистов конструкторского профиля. Альтернативным подходом к проектированию является проектирование на основе математического моделирования и оптимизации конструкций (Simulation & Optimization Driven Design), которое предполагает существенно более широкое использование вычислительных средств (Рисунок 4).



Рисунок 4 – Подход к проектированию на основе оптимизации

Данный подход предполагает, что на входе инженер работает только с компоновочным объёмом и требуемым и к изделию характеристиками (для конкретных эксплуатационных режимов) и далее, с помощью применения компьютерных технологий (CAD/CAE/CAO), получает компьютерную модель изделия, удовлетворяющую всем заданным эксплуатационным и технологическим ограничениям. При этом используются, как и инженерные расчеты (CAE), так и оптимизационные расчеты (CAO). Для получения концепции изделия уже используется не опыт инженера-конструктора, а оптимизационные технологии, частности, топологическая оптимизация. Нужно отметить, что решение, полученное с помощью оптимизационных технологий, часто оказывается существенно отличающимся от той концепции, которую мог бы предложить инженер-конструктор исходя из своего опыта. Далее, создается виртуальный прототип изделия, позволяющий проверить удовлетворение изделия всем эксплуатационным и технологическим ограничениям (в последнем случае могут использоваться CAM технологии). Уже после того, как с помощью вычислительных экспериментов установлено, что изделие удовлетворяет всем заданным ограничениям, создается прототип изделия, и проводятся натурные испытания. В случае удовлетворения требованиям натуральных испытаний, изделие попадает в производство. Наиболее подробно данный подход изложен в работе А. И. Боровкова [7].

Современные научные работы, посвященные методологии оптимального проектирования, также ориентированы на использование современных средств математического моделирования. Так в профильном научном журнале «Онтология проектирования», в выпуске 2011 года представлена статья Д. И. Конотопа [8], где рассматривается онтологический подход к оптимальному проектированию сложных технических объектов (СТО). Данная работа сосредоточена на автоматизации процесса проектирования сложных технических объектов, с применением принципов декомпозиции и синтеза критериев качества объектов, представленных в виде CAD, CAE и CAM моделей. В журнале также присутствуют работы, либо целиком посвященные теоретическим аспектам топологической оптимизации [9], либо, напротив, общим принципам построения процесса проектирования на основе топологической оптимизации и обучения процессу проектирования [10]. В контексте описанных выше подходов к проектированию, особенно обращает на себя внимание статья В. А. Комарова 2013 года под заглавием «Точное проектирование» [11]. В этой статье автор, на примере отрасли самолетостроения, также рассуждает о двух парадигмах в области проектирования. Одна из них является устоявшейся для рассматриваемой отрасли и предполагает большое количество натуральных испытаний объекта. Вторая парадигма – это проектирование объекта на основе математического моделирования, где важнейшим звеном является структурная (топологическая) оптимизация. Как замечает автор, в этом подходе испытания используются не для выявления ошибок, а для подтверждения работоспособности математических моделей.

Таким образом освоение методов и принципов построения систем автоматизированного оптимального проектирования и основных расчетных методик, используемых для оптимального проектирования конструкций является актуальной задачей для каждого специалистов конструкторского профиля.

Список использованных источников:

21. Смольников, Б.А. *Механика в истории науки и общества* /Борис Смольников – НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». 2014 – 608 с.
22. Прагер, В. *Основы теории оптимального проектирования конструкций* / В. Прагер – М.: Мир, 1977 – 110 с..
23. Баничук, Н.В. *Динамика конструкций. Анализ и оптимизация* / Н. В. Баничук, С. Ю. Иванова, А. В. Шаранюк – М.: Наука, 1989. - 264 с.
24. Баничук, Н.В. *Оптимизация форм упругих тел* / Н. В. Баничук – М.: Наука, 1980. - 256 с.
25. Почтман, Ю. М. *Оптимальное проектирование строительных конструкций* / Ю. М. Почтман, З. И. Пятигорский. Киев-Донецк: «Вища школа», 1980 – 112 с.
26. Рейтман, М. И. *Методы оптимального проектирования деформируемых тел (постановки и способы решения задач оптимизации параметров элементов конструкций)* / М. И. Рейтман, Г. С. Шапиро. М.: Наука, 1976. 258
27. Боровков, А. И. *Компьютерный инжиниринг [Текст]: учебное пособие* – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2012. – 93 с.
28. Конотоп, Д.И. *Оптимальное проектирование сложных технических объектов с использованием онтологического подхода* / Д. И. Конотоп, В. П. Зинченко//Онтология проектирования, 1(2), 2011, с. 44-53
29. Комаров, В.А. *Проектирование силовых аддитивных конструкций: теоретические основы* / В.А. Комаров // Онтология проектирования. – 2017. – Т. 7, №2(24). - С. 191-206.
30. Болдырев, А. В. *Методика обучения топологическому проектированию конструкций на основе моделей тела переменной плотности.* / А. В. Болдырев, М. В. Павельчук // Онтология проектирования – 2016 – Т.6, № 4 (22). С. 501 -513
31. Комаров, В. А. *Точное проектирование* / В.А. Комаров // Онтология проектирования, 3 (5), 2012, с. 8 – 23