

УДК 629.7.015.4

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ МНОГОДИСЦИПЛИНАРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ И СИЛОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ МНОГОУРОВНЕВОГО ПОДХОДА

© 2011 г.

В.В. Чедрик

Центральный аэрогидродинамический институт им. Н.Е. Жуковского, г. Жуковский

chedrik@tsagi.ru

Поступила в редакцию 15.06.2011

Представлена многоуровневая процедура решения задач оптимизации конструкций с учетом ограничений по прочности, жесткости, устойчивости и аэроупругости, реализованная в рамках программного обеспечения многодисциплинарного проектирования. Процедура опробована на решении ряда задач проектирования элементов авиационных конструкций.

Ключевые слова: многодисциплинарная оптимизация конструкций, многоуровневый подход, метод конечных элементов, метод заданных форм, напряжение, потеря устойчивости, аэроупругость.

Для синтеза рациональных конструктивно-силовых схем летательных аппаратов необходим комплексный подход к задаче проектирования силовых конструкций, который бы учитывал совокупность требований прочности, аэроупругости и ресурса. Такой многодисциплинарный подход реализован в системе аналитического сопровождения проектирования конструкций АРГОН. В общем виде задача многодисциплинарной оптимизации формулируется так же, как задача нелинейного программирования, и для ее решения применяются методы оптимизации, представленные в [1, 2]. При этом функциональные ограничения, накладываемые на поведение конструкции, обычно рассчитываются отдельными программами, представляющими различные технические дисциплины. Расчет характеристик конструкции может проводиться на моделях различного уровня. Глобальный метод конечных элементов (МКЭ) используется для определения напряжений и перемещений конструкции. Метод заданных форм и расчет аэродинамического обтекания на основе панельного метода применяются для вычисления характеристик статической и динамической аэроупругости. Локальные подробные МКЭ модели необходимо использовать для анализа напряженно-деформированного состояния отдельных элементов конструкции при анализе ресурса и устойчивости конструкции. Чтобы объединить ограничения, вытекающие из различных дисциплин, в одну задачу проектирования предлагается многоуровневая процедура оптимизации. Она может быть условно разделена на три этапа.

Первый этап многодисциплинарной оптимизации может трактоваться как этап многодисципли-

нарного анализа конструкции. На нем проводится расчет рассматриваемой конструкции с использованием моделей различного уровня. Многие случаи могут быть включены на этом этапе для определения функциональных характеристик конструкции в каждой из рассматриваемых дисциплин. На втором этапе вычисляются градиенты этих ограничений по отношению к проектным параметрам. Так как реальная задача имеет большое количество ограничений, то производится процедура отсеивания для выбора ограничений, которые могут играть важную роль при проекционном пересчете проектных параметров. Отметим, что для вычисления градиентов необходимо пройти по всем дисциплинам, в которых имеются активные нарушенные ограничения. На третьем этапе оптимизации, рассматривается задача минимизации целевой функции при редуцированном наборе активных ограничений. Для решения задачи многодисциплинарной оптимизации используется метод последовательного квадратичного программирования и модифицированный метод Пшеничного [1]. Отметим, что при решении задач оптимизации в рамках одной дисциплины (например, статический анализ) реализованы более эффективные процедуры оптимизации.

Поскольку этап расчета конструкции является наиболее затратным по времени, важным является минимизация количества полных расчетов конструкции. Целесообразно проводить пересчет конструкции в оптимизационной процедуре в предположении, что градиенты не меняются при изменении проектных переменных. На основе известных производных строятся явные аппрок-

симации ограничений, и формируется явное выражение для целевой функции. Полученная приближенная задача математического программирования передается в блок оптимизации. Эта задача дополняется ограничениями на изменение проектных переменных, в рамках которого остается корректной аппроксимация. Эта задача может быть легко решена с использованием одного из алгоритмов оптимизации (внутренний цикл оптимизации). Далее полученное решение аппроксимационной задачи берется в качестве нового приближения в процессе оптимизации конструкции (внешний цикл оптимизации). Многошаговая оптимизационная процедура обычно завершается при удовлетворении критериям сходимости по целевой функции и удовлетворении ограничениям.

Приведены два примера многодисциплинарной оптимизации. Оптимизация конструкции лонжерона (рис. 1) была проведена с помощью систем АРГОН двумя способами: последовательно и одновременно.

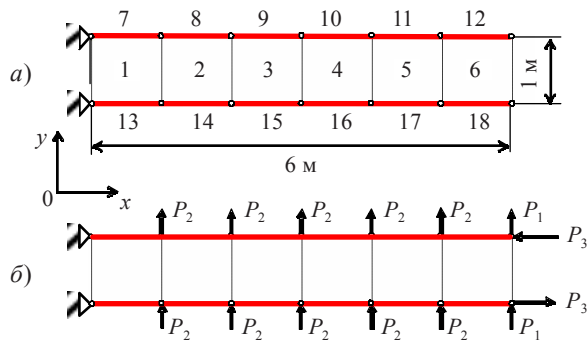


Рис. 1

При последовательном подходе сначала была осуществлена оптимизация с учетом только ограничений по напряжениям, затем фигурировали только ограничения по перемещениям, после чего рассматривались только условия по частоте. При этом значения проектных переменных, полученные на предыдущей стадии, служили минимально допустимыми величинами для них при опти-

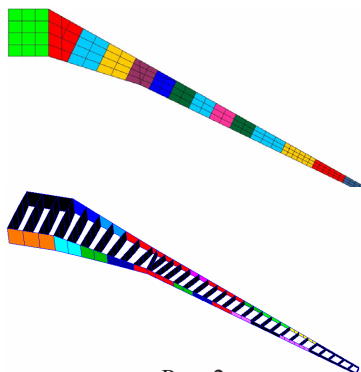
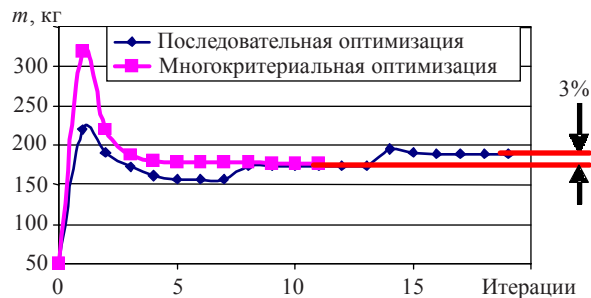


Рис. 2

мизации на последующем этапе. В рамках второго способа все ограничения рассматривались одновременно. Спроектированная конструкция, полученная последовательным подходом, оказалась на 3% тяжелее конструкции, найденной по второму методу.

Разработанная процедура оптимизации использовалась при поиске рациональной конструктивно-силовой схемы композиционного кессона крыла средне-магистрального самолета. Проектные переменные кессона показаны на рис. 2. Процедура многодисциплинарного проектирования включала в себя анализ аэродинамических и инерционных нагрузок с использованием упругой пластинно-балочной модели (два случая нагружения (А) и (А')) и оптимизацию распределения толщин композиционного пакета на модели МКЭ.

На рис. 3 показано полученное распределение приведенных толщин верхней и нижней обшивки вдоль размаха крыла. Анализ напряженно-деформированного состояния оптимизированной конструкции показал, что если не учитывать



упругость конструкции, то толщины практически всех элементов определяются нагрузками второго случая нагружения (А'). Оптимальная масса для конструкции с «упругими» нагрузками существенно меньше (1007 кг), чем для «жестких» нагрузок (1271 кг).

Отметим, что сброс нагрузки во втором случае (А') значительно больше, чем в случае А, так

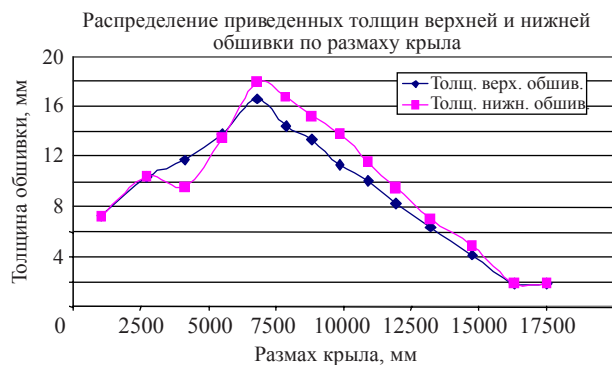


Рис. 3

что при учете упругости конструкции оба случая являются определяющими.

Таким образом, разработанная многоуровневая процедура оптимизации обладает высокой гибкостью и позволяет решать широкий класс исследовательских и практических задач проектирования силовых конструкций. Многоуровневая оптимизация, при которой задача распадается на ряд отдельно решаемых задач, обеспечивает практическое осуществление оптимизации со многими проектными переменными и ограниче-

ниями из различных дисциплин.

Список литературы

1. Никифоров А.К., Чедрик В.В. О методах и алгоритмах многодисциплинарной оптимизации силовых конструкций // Уч. зап. ЦАГИ. 2007. Т. XXXVIII, №1-2. С. 129–142.
2. Ishmuratov F.Z., Chedrik V.V. ARGON code: structural aeroelastic analysis and optimization // International Forum on Aeroelasticity and Structural Dynamics, 2003. Amsterdam, IFASD-2003.

SOLVING THE MULTIDISCIPLINARY STRUCTURAL OPTIMIZATION PROBLEM BASED ON MULTILEVEL APPROACH

V.V. Chedrik

A multilevel flowchart for solving optimization problems of design of composite and metallic structures under strength, stiffness, buckling and aero-elasticity constraints is presented. It has been implemented in the framework of the software for multidisciplinary structural optimization. A set of test problems has been solved and the multilevel approach has been used in design studies of advanced aircraft structures.

Keywords: multidisciplinary design optimization, multilevel approach, finite element method, prescribed forms method, stress, buckling, aeroelasticity.