

Вопросы моделирования конструкции крыла для задач оптимизации по прочности, жёсткости и устойчивости

Аркар Пхио

Московский физико-технический институт (государственный университет)

Конструкция крыла летательного аппарата наиболее сильно подвержена нагрузкам в процессе его эксплуатации. Весьма актуальной проблемой является обеспечение требуемых прочностных характеристик крыла при минимальных затратах веса. Для решения такой задачи необходимо правильно строить математические модели, позволяющие проводить корректные расчёты перемещений, деформаций и напряжений при воздействии экстремальных нагрузок. В настоящее время такие модели базируются на методе конечных элементов. Они используются при анализе прочности с помощью программных продуктов, разработанных различными компаниями. Пожалуй, наиболее пригодным из них для расчёта конструкции крыла, является программа Nastran.

В данной работе рассматриваются вопросы моделирования конструкции с точки зрения их использования для решения задач оптимизации при учёте требований прочности, жёсткости и устойчивости. Сложность моделирования в такой постановке состоит в том, что разрабатываемые математические модели должны быть пригодны для расчёта различных характеристик и при этом решаются задачи двух видов. Для определения напряжений и перемещений необходимо решение статической задачи, сводящейся к решению системы линейных алгебраических уравнений, а для поиска минимальных критических сил потери устойчивости решается задача на собственные значения и векторы. Для первой задачи конечно-элементная (КЭ) модель может быть не очень подробной и отражать основные силовые элементы такие, как обшивки, лонжероны и нервюры. Для второй задачи достоверные критические параметры потери устойчивости могут быть получены только при использовании весьма подробных конечно-элементных сеток. При этом существенным является моделирование подкрепляющих элементов, повышающих изгибную жёсткость. Например, необходимо моделировать стрингеры верхней и нижней панелей крыла. Рассматриваются два вида моделирования подкрепляющих элементов: 1) с помощью балочных элементов с эксцентриситетом по отношению к оболочечной обшивке; 2) с помощью оболочечных элементов, задающих форму стрингеров. Оба вида существенно увеличивают размерность конечно-элементной задачи, что требует значительного времени даже только для вычисления критических сил, не говоря уже о проведении оптимизационных расчётов.

Предлагается двухуровневый подход моделирования, когда для решения статической задачи применяются эффективные модели с точки зрения вычислительных затрат (модели первого уровня). Они могут быть использованы при оптимизации по условиям прочности и жёсткости. Для уточнения параметров отдельных силовых элементов крыла по условиям устойчивости подготавливаются их подробные модели. Важным при использовании таких моделей второго уровня является адекватная передача внутренних усилий, полученных на моделях первого уровня. Отметим, что существенным моментом является также правильный учёт граничных условий при анализе моделей второго уровня.

Предложенный подход может быть весьма эффективным при оптимизации конструкции крыла, когда рассматриваемые характеристики рассчитываются отдельными модулями (статический расчёт и анализ потери устойчивости). Исследуется вопрос по установлению ограничений, представляющих связи между моделями двух уровней. Построен предварительный вариант алгоритма двухуровневой оптимизации конструкции крыла.