

Задачи оптимизации технических изделий и процессов

В современном производстве проектирование различных механизмов и устройств обычно проходит по одному и тому же сценарию, в рамках которого конструктор (или коллектив проектировщиков) на основе справочной информации и своего профессионального опыта создает продукт, который бы максимально отвечал требованиям заказчика. Расчетный отдел проверяет предложенные конструкторами технические решения, технологи осуществляют технологическую подготовку производства. При этом успешность изделия в эксплуатации зависит от того, что было заложено разработчиками на этапе проектирования. По сути, задача конструктора – на основе нескольких сравнительных расчетов выбрать оптимальное решение, наиболее полно удовлетворяющее требованиям технического задания.

Чаще всего накопленных знаний хватает на то, чтобы изготовить вариант, наиболее приближенный к оптимальному, но существует класс задач, для которых решение, приводящее к заданному результату, не очевидно. В современной практике, когда вследствие конкуренции к изделиям предъявляются все более жесткие и порой противоречивые требования, находящиеся на стыке нескольких дисциплин, провести разработку изделия становится все более сложно и трудоемко. Здесь на помощь конструктору приходят автоматизированные программные комплексы математического моделирования и проведения процедуры многокритериальной многодисциплинарной оптимизации.

Одним из таких продуктов, широко используемых на российских предприятиях, является система FlowVision НРС компании "ТЕСИС", предназначенная для решения задач вычислительной аэро- и гидродинамики. Для поиска оптимального решения система допускает три варианта изменения параметров:

1. Изменение положение тела относительно набегающего потока.
2. Изменение параметров набегающего потока.
3. Изменение формы обтекаемого тела.

Решение задач оптимизации в аэро- и гидродинамическом программном комплексе FlowVision НРС стало возможно благодаря его новой архитектуре, где входные и выходные данные решателя хранятся в отдельных файлах в текстовом и XML-форматах и доступны для запуска с помощью файла *.bat из командной строки.

Решение задачи оптимизации сводится к поиску вариантов, наиболее полно удовлетворяющих заданным критериям. Проводить оптимизацию может непосредственно конструктор или высокоавтомати-

зированный программный комплекс. Программный комплекс оптимизации изменяет входные данные для математической модели, запускает процесс расчета и получает на выходе результаты. Результаты решения анализируются в автоматическом режиме на предмет соответствия заданным критериям. Длительность расчета зависит от степени детализации постановки задачи (объема расчетной сетки, количества неизвестных) и может составлять несколько часов или даже суток, а так как процесс осуществляется в автоматическом режиме, то со стороны пользователя не требуется постоянный контроль, а только периодический мониторинг, и в освободившееся время конструктор может заниматься решением других задач.

Решение гидродинамической задачи в FlowVision НРС с помощью программного комплекса многокритериальной многодисциплинарной оптимизации IOSO NM (разработчик – компания "Сигма Технология") осуществляется по типовому сценарию. Первоначально настраивается проект в оптимизационном пакете IOSO NM. Пользователь указывает путь к файлу запуска программы расчета. Для FlowVision НРС запуск осуществляется с помощью файла *.bat из командной строки. После этого указываются требуемые файлы входных данных, переменные, которые нужно менять и границы их изменения. Таким же образом указывается выходной файл и параметры в нем, которые должны контролироваться. При работе программа-оптимизатор в соответствии с внутренними алгоритмами изменяет входные данные в файлах проекта, запускает проект на расчет и обрабатывает выходные данные. Все результаты решения записываются и впоследствии могут быть проанализированы конструктором.

В качестве примера использования программного комплекса FlowVision НРС приведем несколько задач по оптимизации, решаемых сегодня в промышленности.

Одна из таких задач состоит в том, чтобы найти для самолета, имеющего повреждения в планере и летящего с заданной скоростью, такое положение в пространстве, при котором на него не будет действовать крутящий момент (точнее, он будет минимален).

В этой задаче в качестве варьируемых параметров использовались углы ориентации самолета (положение подвижного тела) – углы тангажа, рысканья и крена. Было задано ограничение изменения углов, исходя из руководства по летной эксплуатации. Процесс решения задачи заключался в том, что с помощью оптимизатора изменялись значения углов ориентации в исходных данных проекта. Затем из командной строки запускался

Таблица

Угол 1	0	Угол 1	0,8
Угол 2	0	Угол 2	2,8
Угол 3	0	Угол 3	-9,0
Суммарный момент	14 753 Нм	Суммарный момент	1340 Нм
Начальное положение		Оптимизированное положение	

солвер на расчет. После расчета FlowVision HPC выдавал файл результата, из которого оптимизатор считывал значения моментов и оценивал суммарный момент. Затем выбирались варианты, для которых сумма моментов была минимальной, и на основе данных этих вариантов подбирались углы, позволяющие достичь еще меньших моментов (таблица).

Время расчета одного варианта составляло 45 минут. Для достижения минимального момента было проведено 200 итераций, и общее время расчета составило 6,5 суток. Расчет проводился полностью в автоматическом режиме.

Следующим примером является задача охлаждения детали в газостате (рис. 1), где для придания ей требуемых прочностных качеств необходимо охладить стальную заготовку, предварительно нагретую до 1200°C. Прочностные качества зависят от типа структуры кристаллической решетки, и для получения нужной структуры необходимо выдерживать скорость охлаждения заготовки не выше 1°C в секунду. Однако помимо прочностных требований к заготовке предъявляются также требования по целостности геометрических обводов, которые зависят от равномерности прогрева заготовки. В случае, если разница температур в соседних точках заготовки превысит 3°C, то в процессе охлаждения начнется коробление заготовки и выход ее габаритов за пределы поля допуска.



Рис. 1

Управление режимом охлаждения в газостате осуществляется с помощью подающих каналов, выполненных в виде труб малого диаметра, через которые подается инертный газ с меньшей температурой.

Задача состоит в подборе такого расположения подводящих каналов и режимов подачи охлаждающего газа, которые позволяют выдержать заданный температурный режим охлаждения заготовки по времени и пространству. Решить данную задачу методом перебора затруднительно ввиду сложной формы заготовки и сложной структуры течения газа. Применение оптимизатора позволяет не только автоматизировать процедуру перебора, но и осуществлять перебор наиболее рациональным путем, отбрасывая заведомо неправильные варианты.

В процессе решения задачи менялось не только положение подвижных тел (подающих сопел), но и параметры их граничных условий (расход и температура охлаждающего воздуха). В результате поиска было найдено расположение отверстий и параметры охлаждающего потока, полностью удовлетворяющее постановке задачи (рис. 2).

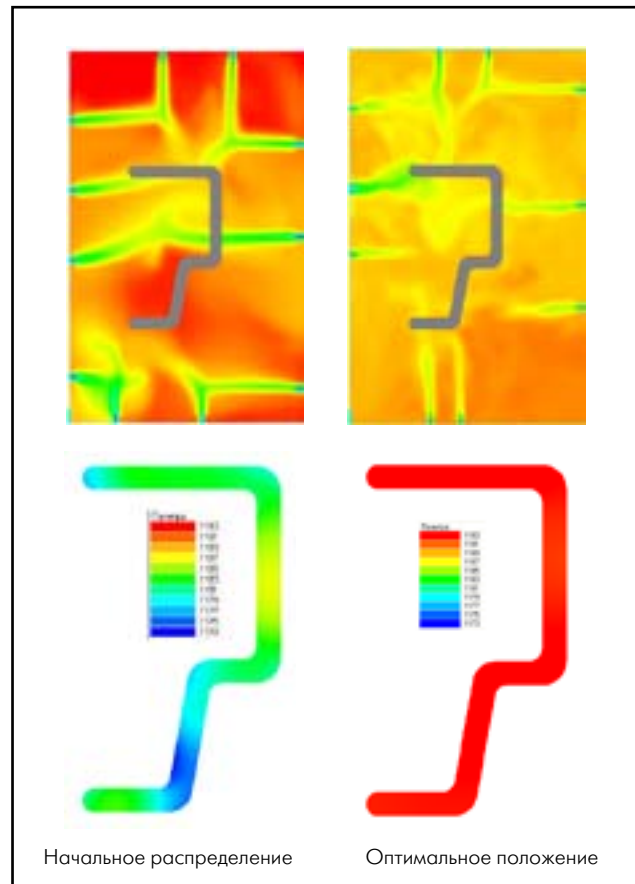


Рис. 2

В этой задаче дополнительно исследовался вопрос выигрыша в скорости расчета в зависимости от количества привлекаемых процессоров. При распараллеливании задачи возможно два типа параллельности. Во-первых, FlowVision HPC позволяет решать задачу на нескольких процессорах, что ускоряет решение задачи пропорционально их количеству. Во-вторых, IOSO PM может запускать одновременно несколько процессов оптимизации, то есть одновременно обчислять одну математическую модель с несколькими векторами входных параметров. Комбинация параллелизма двух программных комплексов при имеющихся вычислитель-

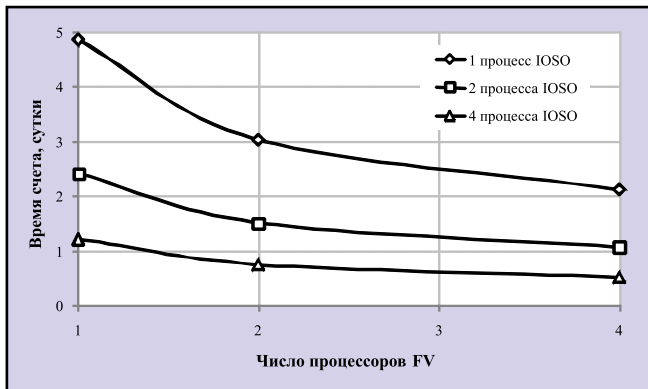


Рис. 3

ных ресурсах позволяет сэкономить рабочее время и получить результат в кратчайшие сроки (рис. 3).

За счет технологии параллельной оптимизации время расчета задачи снизилось с 5 суток (расчет на одном процессоре) до 20 часов (расчет четырех процессов оптимизации параллельно, каждая из задач решалась на 4 процессорах, всего было задействовано 16 процессоров).

И наконец, классическая задача аэродинамики – оптимизация профиля крыла. В задаче требуется найти такую форму профиля, чтобы обеспечить максимальное аэродинамическое качество (отношение подъемной силы к силе лобового сопротивления) и максимальное значение подъемной силы при заданном постоянном режиме обтекания и постоянной хорде профиля.

Достижение требуемых параметров обеспечивается за счет изменения формы профиля, как подвижного тела. Для решения подобной задачи уже недостаточно только FlowVision

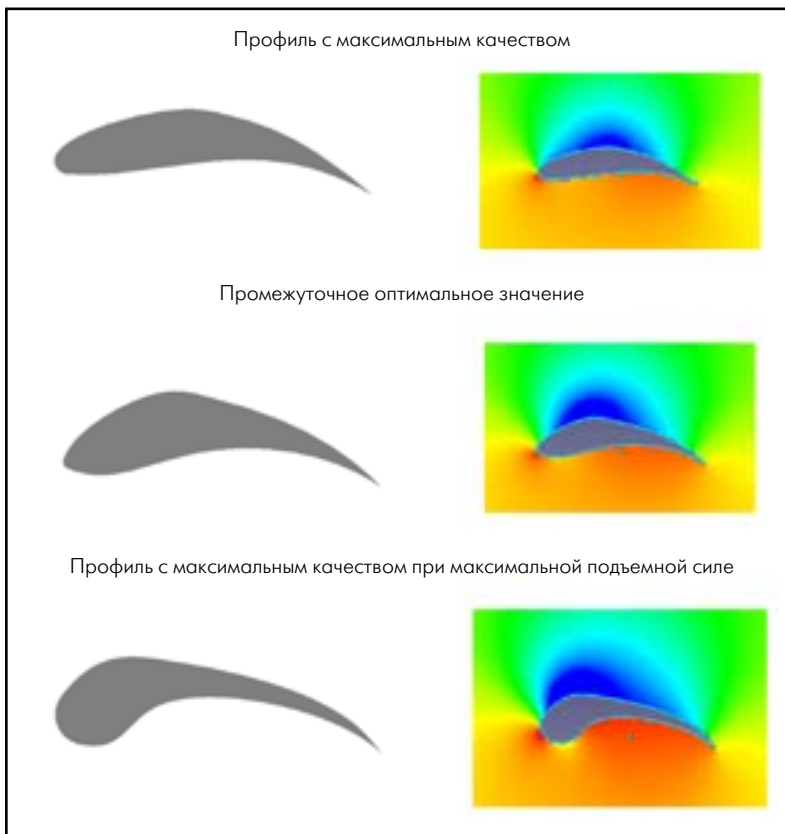


Рис. 4

HPC, требуется также система геометрического моделирования, обеспечивающая управление геометрической моделью. В данной задаче использовалась связка трех программных продуктов IOSO NM + SolidWorks + FlowVision HPC. Управление процессом расчета осуществлялось комплексом оптимизации IOSO NM. С помощью макросов менялись параметры профиля в системе геометрического моделирования SolidWorks, для чего геометрия профиля представляется в параметрическом виде, с возможностью изменения формы средней линии профиля и его формы. Затем геометрия в автоматичес-

ком режиме передавалась в проект FlowVision HPC, и начинался расчет. После этого файл выходных данных FlowVision HPC обрабатывался, и из него вычислялись сила лобового сопротивления и подъемная сила.

В результате расчета была найдена серия профилей, удовлетворяющих различным комбинациям критериев (рис. 4): профиль с максимальным аэродинамическим качеством, профиль с максимальной подъемной силой и профиль с максимально возможным аэродинамическим качеством при максимальной подъемной силе.

По результатам исследования выявились параметры, изменение которых сильно влияет на характеристики профиля, и параметры, изменение которых, напротив, слабо изменяет характеристики профиля. Эти данные могут потребоваться для рациональной организации цикла производства. Например, в данной задаче кривизна профиля (следовательно, координаты точек на профиле) является очень чувствительным параметром, а радиус носика профиля является менее чувствительным, это означает, что он может быть выполнен с меньшей точностью или что конструктор может его изменять для удовлет-

ворения требований компоновки летящего аппарата.

Таким образом, автоматическая оптимизация задачи помогает конструктору сэкономить время и понять наиболее значимые для конструкции параметры. Успех решения задачи зависит от грамотной ее постановки: выбора варьируемых величин, границ их изменения и контролируемых параметров. Достигнутый уровень автоматизации процессов расчета позволил сделать существенный вклад в развитие такой дисциплины, как автоматизация проектно-конструкторских работ, что дает возможность снять с

разработчика большой объем рутинных работ и более рационально построить его рабочий процесс.

Данная технология позволяет по-новому построить процесс разработки изделия и уже на ранних стадиях закладывать решения, удовлетворяющие требованиям всех последующих этапов жизненного цикла изделия (испытания, производство, сервис, утилизация и проч.), что позволит на каждом из этапов извлечь максимальную величину прибыли.

А. Е. Щеляев, М. К. Митрофанова, компания "ТЕСИС"