

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



Рис. 1

Задача состоит в подборе такого расположения подводных 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).

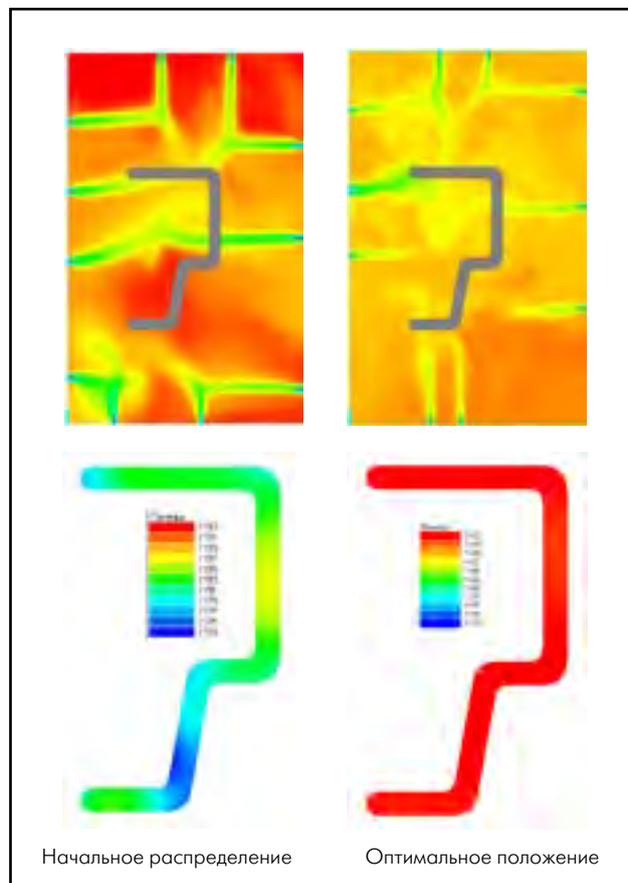


Рис. 2

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-

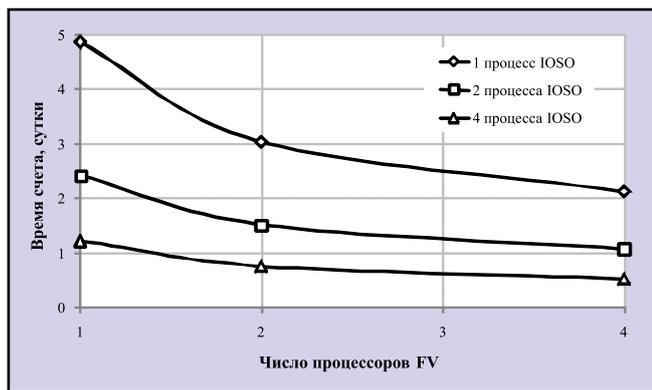


Рис. 3

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 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

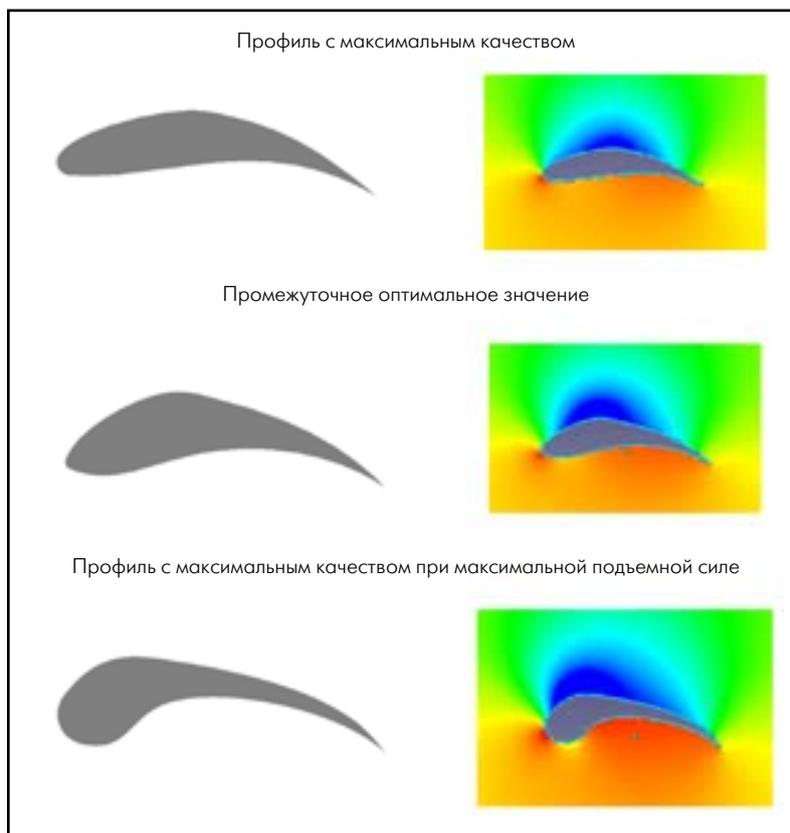


Рис. 4

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"**