

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ И МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ
ОПТИМИЗАЦИИ НА ПЛАТФОРМЕ IOSO****Ю.И. Бабий (Москва)**

Как известно, создание высокоэффективных технических систем и технологических процессов не обходится без применения новых технологий и невозможно без оптимального согласования большого количества параметров, влияющих на эффективность этих систем. Однако такие задачи часто не ставятся ввиду сложности их решения и отсутствия доступных инструментариев.

Основной задачей повышения эффективности сложных технических систем и процессов является разработка виртуальных моделей, описывающих комплекс свойств и характеристик подобных систем. На их основе исследователю предоставляется возможность поиска совокупности альтернативных проектных вариантов, которые являются наилучшими по тем либо иным показателям качества, для принятия конечного решения. Данный подход позволяет значительно сокращать сроки и стоимость создания новых технических систем и технологических бизнес-процессов.

Несмотря на очевидную эффективность использования данного подхода, в настоящее время методы оптимизации находят ограниченное применение на практике. Представляется, что это связано с особенностями и трудностями решения практических задач оптимизации. К ним можно отнести большую размерность задач (десятки и сотни переменных и ограничений); топологическую сложность оптимизируемой функции; значительные вычислительные затраты; необходимость решения задачи в многокритериальной постановке, использования не связанных между собой моделей и т.д.

В целях решения данного комплекса проблем разработана платформа управления расчетами и оптимизации IOSO, основным назначением которой является автоматизация проектирования для освобождения исследователя от достаточно сложного и очень трудоемкого процесса поиска проектных параметров объекта, который одновременно удовлетворяет большому количеству иногда противоречивых требований.

Интеграционная платформа IOSO позволяет осуществлять интеграцию различных расчетных моделей. Она осуществляется через входные и выходные файлы моделей, которые могут быть в xml-формате или обычном текстовом виде. Особых требований к данному формату не предъявляются. Для интеграции с рядом известных пакетов инженерного анализа используются модули автоматической интеграции, которые могут быть при необходимости реализованы и для иных расчетных пакетов и систем моделирования (рис. 1).

Реализована возможность удаленного использования кроссплатформенных вычислительных ресурсов, включая суперЭВМ (рис.2).

Используемая в платформе технология оптимизации IOSO представляет собой высокоэффективный инструментарий решения многопараметрических многокритериальных задач с процедурами самоорганизации, что не требует от пользователей специальных знаний в области теории и методах оптимизации.

Другой отличительной особенностью является возможность решения задач большой размерности (десятки и сотни переменных и ограничений). На рис. 3 показана качественная зависимость достигаемого эффекта по увеличению коэффициента полезного действия от размерности задачи оптимизации, полученная в результате обобщения практического опыта решения более 100 задач оптимизации осевых компрессоров.

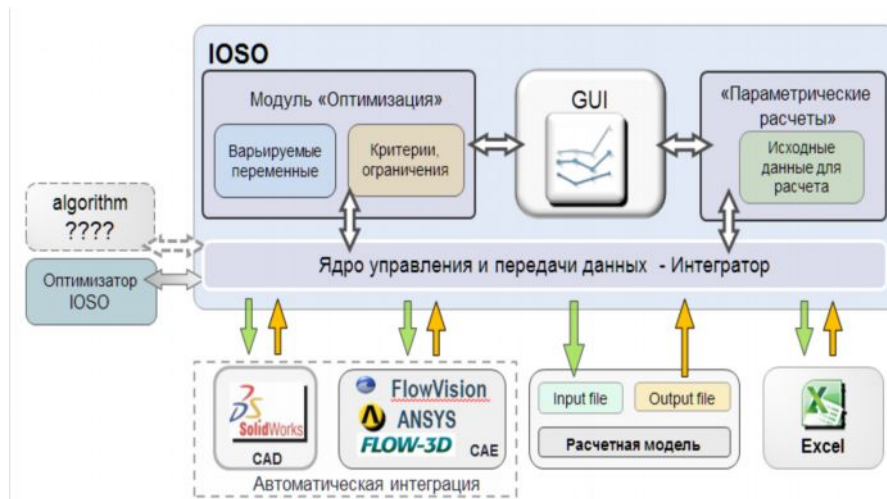


Рис. 1. Структурная схема программы IOSO

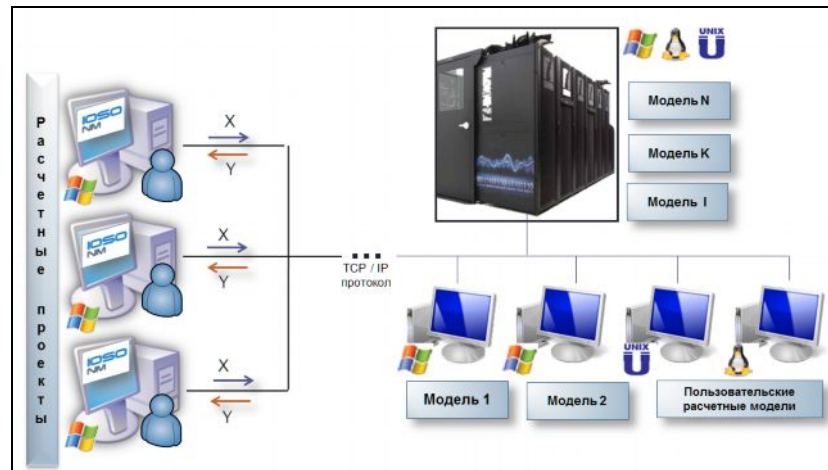


Рис. 2. Схема использования смешанной вычислительной сети

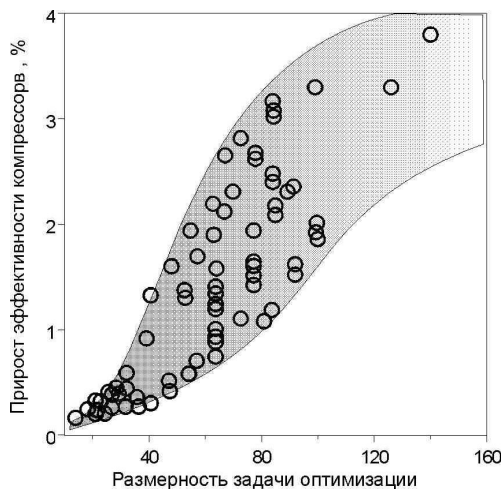


Рис. 3. Прирост КПД компрессора для различной размерности задачи

Видно, что наибольшие приросты эффективности компрессора достигаются при большой размерности задачи оптимизации, т.е. в области, где интуиция и опыт разработчиков практически бессильны. Это связано с тем, что профессиональный уровень разработчиков авиационной техники весьма высок. Однако эксперт физиологически не в состоянии понять взаимосвязь между 100 переменными и обеспечить их оптимальное согласование. Именно в этой области находятся новые технические решения, которые представляют интерес для их реализации.

Известно, что с ростом размерности затраты на решение задачи оптими-

зации увеличиваются экспоненциально. Применяемый метод имеет практически линейную зависимость затрат от размерности задачи. Это связано с особенностями организации процесса поиска экстремума, направленного на минимизацию вычислительных затрат.

Важной особенностью технологии является и возможность решения задач оптимизации для целевой функции, имеющей сложную топологию. При исследовании реального объекта, как правило, топология оптимизируемой функции неизвестна. Однако именно тип топологии оптимизируемой функции (овражная, многоэкстремальная, гладкая и т.п.) во многом определяет выбор метода оптимизации. Поэтому для решения практических задач важным обстоятельством является универсальность метода оптимизации по отношению к топологии оптимизируемой функции. А затраты на изучение этих свойств могут быть соизмеримы с нахождением экстремума. Это весьма важное свойство, поскольку позволяет пользователю не затрачивать дополнительных усилий на изучение топологии оптимизируемой функции при постановке задачи. Практический опыт и проведенные специальные исследования позволяют с уверенностью утверждать, что технология оптимизации IOSO практически инвариантна к топологии оптимизируемой функции. На рис 4–5 представлены сравнения IOSO технологии оптимизации с генетическим алгоритмом на двух известных тестовых функциях: Levy [1] с наличием областей невычислимости и Belegundu [2] с наличием ограничений.

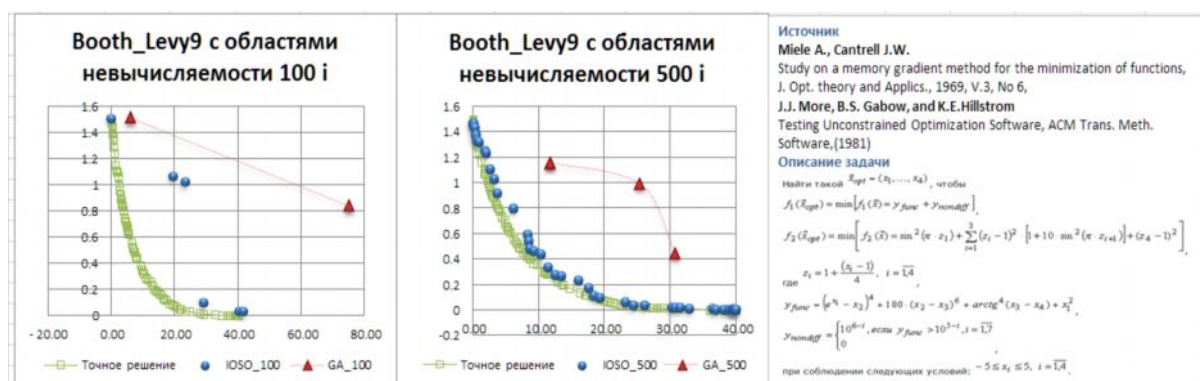


Рис. 4. Сравнение сходимости IOSO и генетического алгоритма при выполненных 100 и 500 итерациях на тестовой задаче Levy с областями невычислимости

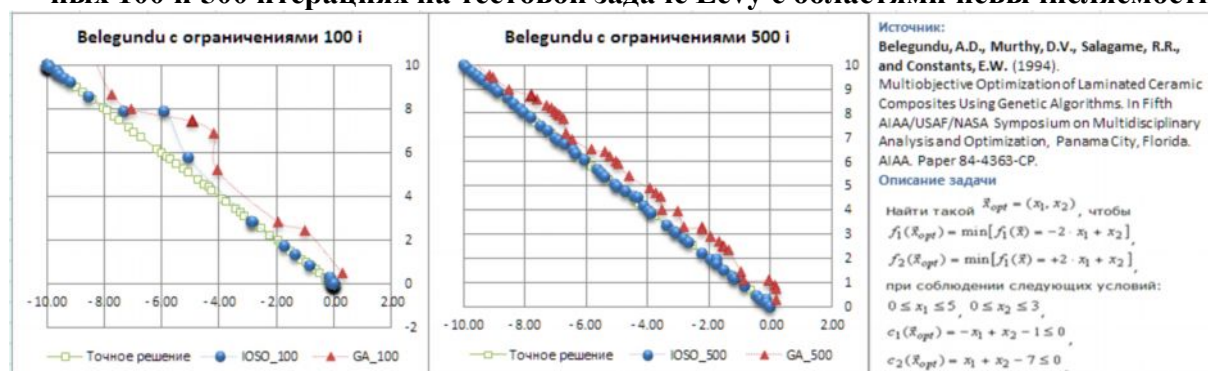


Рис. 5. Сравнение сходимости IOSO и генетического алгоритма при выполненных 100 и 500 итерациях на тестовой задаче Belegundu с наличием ограничений

Безусловно, на основании двух решенных тестовых задач нельзя делать полноценные выводы об эффективности IOSO-технологии оптимизации, но задачи данного класса наиболее часто встречаются при моделировании сложных технических систем. В настоящее время известны и другие новые подходы в решении сложных оптимизационных задач [3], но исследования их не осуществлялись.

Решение задач анализа в платформе осуществляется в виде оптимизационных исследований и параметрических расчетов (рис. 7)

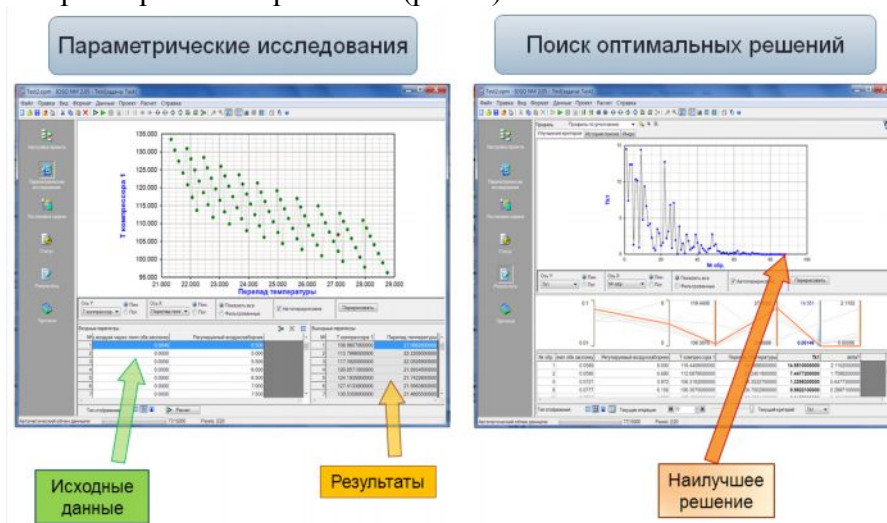


Рис. 7. Интерфейсы параметрических и оптимизационных исследований

Применительно к решению задач повышения эффективности технических систем в качестве целей могут рассматриваться как показатели, характеризующие их эффективность, например, коэффициент полезного действия, масса, надежность и т.п., так и экономические показатели, такие как стоимость производства, эксплуатации или модификации при реализации тех или иных технических решений. Наличие множества противоречивых требований, предъявляемых к современным техническим системам, приводит к тому, что результатом любого оптимизационного исследования является целое множество альтернативных оптимальных технических решений.

В качестве способов достижения поставленной цели может рассматриваться процесс проектирования (разработка нового либо модификация имеющегося проекта системы), процесс поиска законов управления регулируемыми элементами системы (включая определение количества и рационального состава регулируемых элементов), а также их комбинация, т.е. процесс проектирования регулируемого объекта.

При решении серьезных практических проблем требуются существенные временные затраты для поиска решения. Так, при решении задачи повышения эффективности дульного тормоза для артиллерийского орудия за счет определения новой его геометрии (количество параметров геометрии – 8), которая бы обеспечивала максимальное тянущее усилие, длительность одного процесса газодинамического моделирования составила около 15 часов при использовании 24 ядер. Снижение общего времени решения задачи оптимизации обеспечивается алгоритмами распараллеливания, осуществляющими формирование множества исходных векторов для расчетов (до 32) и организацией параллельных вычислений с использованием суперЭВМ или кластера компьютеров. Распараллеливание процесса оптимизации при решении данной задачи осуществлялось на суперкомпьютере «Минин», где было организовано 32 вычислительных потока. Количество задействованных ядер составило $24 \times 32 = 768$, потребное количество итераций для решения данной задачи составило около 150, оптимальное решение было найдено на 128 итерации, которое значительно позволило повысить эффективность моделируемого объекта. Продолжительность расчетов составила около 4 суток. На рис. 8 показана вычислительная схема осуществления расчетов.

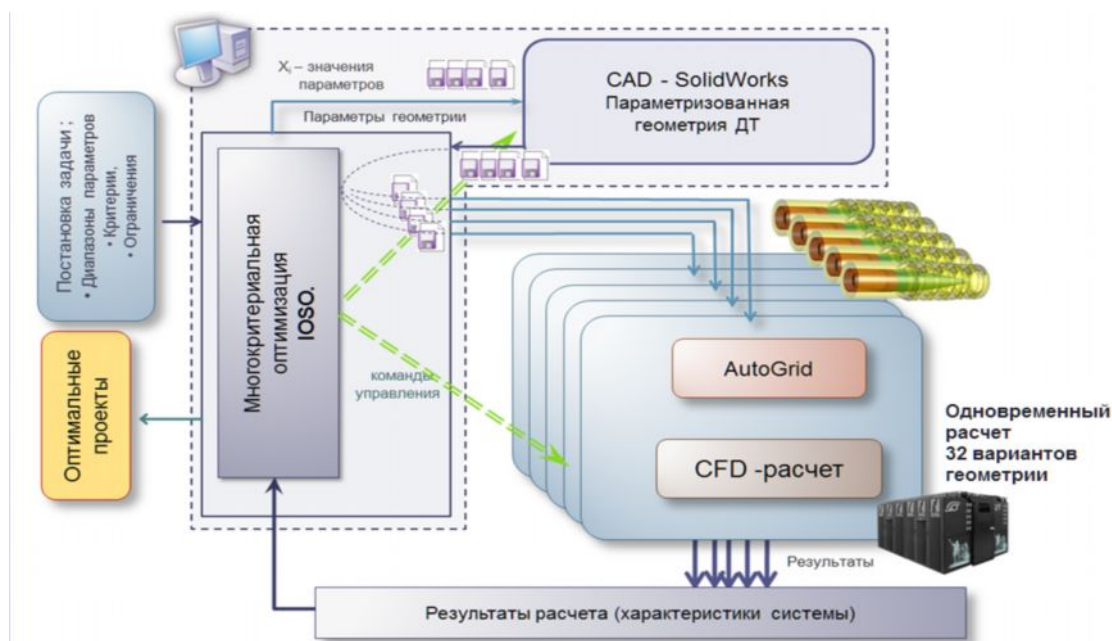


Рис. 8. Схема оптимизационных вычислений

В платформе IOSO реализована возможность «парсинга» (разбора) значений во входных и выходных файлах моделей, что обеспечивает возможность создания взаимосвязи моделей по параметрам, не используя дополнительных процедур трансфера и преобразования форматов.

Вычислительная схема (рис.8) позволяет эффективно использовать суперЭВМ для решения практических задач в короткие сроки. В опубликованной печати не известны аналоги решения задач данного класса.

Заключение

Авторы надеются, что разработанная платформа управления расчетами и оптимизации IOSO поможет формированию новой системы взглядов на проблему повышения эффективности сложных технических систем и процессов, будет доступной для восприятия и использования широкому кругу специалистов и позволит существенно расширить прикладные области и сложность решаемых задач с использованием имитационного моделирования.

Литература

1. Miele A., Cantrell J.W. Study on a memory gradient method for the minimization of functions // J. Opt. theory and Appls. – 1969. – V.3. – №6. – P.459–470.
2. Belegundu, A.D., Murthy, D.V., Salagame, R.R., and Constants, E.W. Multiobjective Optimization of Laminated Ceramic Composites Using Genetic Algorithms. In Fifth AIAA/USAF/№ASA Symposium on Multidisciplinary Analysis and Optimization, 1994. Panama City, Florida. AIAA. Paper 84-4363-CP, pages 1015–1022.
3. Чичинадзе В.К. Решение невыпуклых нелинейных задач оптимизации. – М.: Наука, 1983.