

Ю.И. Бабий, ЗАО «СИГМА Технология», В.В. Садовский, ОАО «ЦНИИ «Буревестник», А.А. Аксенов, П.И. Карасев, К.В. Кузнецов, ООО «ТЕСИС»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СУПЕРКОМПЬЮТЕРА И ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ FLOWVISION И IOSO ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДУЛЬНОГО ТОРМОЗА.

АННОТАЦИЯ. В данной статье описываются особенности проведения оптимизационного исследования на суперЭВМ с использованием программных комплексов FlowVision и IOSO. Выбор оптимальных параметров и управление расчетами выполняются интеграционной платформой IOSO. Оптимизация осуществляется на основе математического моделирования функционирования дульного тормоза, которое проводится в программном комплексе FlowVision.

IOSO позволяет решать задачи оптимизации большой размерности, в однокритериальной и многокритериальной постановках, при небольшом количестве прямых обращений к математической модели исследуемого объекта.

Программный комплекс FlowVision предназначен для расчета широкого спектра задач динамики жидкости и газа. Динамическая расчетная сетка с подсеточным разрешением границ расчетной области позволяет быстро и качественно строить расчетную сетку на основе геометрических моделей новых конструкций дульного тормоза, создаваемых в произвольной CAD-системе по параметрам выбранным IOSO.

В результате решения задачи оптимизации было получено значительное увеличение значения тянущего усилия и изменения импульса.

Ключевые слова и фразы: дульный тормоз, многокритериальная оптимизация, IOSO, FlowVision, газодинамический расчет, суперкомпьютер

Введение

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 выбранные критерии эффективности этих систем.

Основной проблемой повышения эффективности сложных технических систем и процессов является разработка математических моделей, описывающих весь комплекс их свойств и характеристик. Но даже при наличии таких моделей выбор оптимального варианта конструкции из массива потенциально возможных представляет собой крайне сложную задачу. Эффективное решение такой задачи на основе ручного перебора вариантов в подавляющем большинстве случаев невозможно. Такие задачи необходимо решать с использованием специальных методов оптимизации.

При использовании современных средств оптимизации проектировщику предоставляется возможность поиска совокупности альтернативных вариантов проекта, которые являются наилучшими по тем либо иным показателям эффективности для принятия конечного решения. Данный подход позволяет значительно сокращать сроки и стоимость создания и доводки технических систем и их жизненного цикла в целом.

Решение задач оптимизации с использованием суперкомпьютеров имеет ряд особенностей. Далее рассмотрим эти особенности.

1. Особенности решения задач моделирования и оптимизации.

1.1. Программная платформа IOSO

В настоящее время, несмотря на эффективность оптимизации проектных параметров на основе численных методов моделирования и оптимизации, такой подход находит ограниченное применение на практике. Это связано как с проблемами математического

моделирования и оптимизации для решения практических задач (сложность физических процессов и топологическая сложность оптимизируемой функции, трудности в использовании традиционных методов оптимизации, необходимость использования несвязанных между собой математических моделей), так и с ограничениями по вычислительным ресурсам (большие размерности задач и значительные вычислительные затраты при их решении).

В целях решения данного комплекса проблем разработана программная платформа управления расчетами и оптимизации IOSO, основным назначением которой является автоматизация процесса проектирования высокоэффективных технических систем и освобождение инженера от достаточно сложного и очень трудоёмкого процесса поиска проектных параметров объекта, удовлетворяющих одновременно большому количеству иногда противоречивых требований.

IOSO обладает следующими функциями:

- интеграция различных расчетных моделей, расположенных в смешанной вычислительной среде (персональные компьютеры, кластеры, суперкомпьютерные системы) и на различных операционных системах (Windows, Linux/Unix). Она позволяет: организовывать обмен данными между расчетными моделями в едином вычислительном проекте; осуществлять управление запуском математических моделей, включая многопользовательский доступ к ним; протоколировать полученные результаты расчетов; эффективно использовать вычислительные ресурсы, в том числе многопроцессорные вычислительные системы;
- автоматизация процесса выполнения параметрических исследований и оптимизационных расчетов при небольшом количестве прямых обращений к расчетным моделям.

Главной отличительной особенностью используемой технологии оптимизации IOSO является возможность решения задач большой размерности (десятки и сотни переменных и ограничений) при небольшом количестве прямых обращений к расчетным моделям. Известно, что с ростом размерности затраты на решение задачи оптимизации 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 оптимизации IOSO является и возможность решения задач оптимизации для целевой функции имеющей сложную топологию.

При исследовании реального объекта топология оптимизируемой функции обычно неизвестна. Однако именно она во многом определяет выбор метода оптимизации. Для решения практических задач важным обстоятельством является универсальность метода оптимизации к топологии оптимизируемой функции, поскольку затраты на ее изучение могут быть соизмеримы с затратами, необходимыми для нахождения экстремума.

Практический опыт и проведенные специальные исследования позволяют с уверенностью утверждать, что технология оптимизации IOSO практически инвариантна к топологии оптимизируемой функции. Это позволяет проектировщику не затрачивать дополнительных усилий и средств при постановке задачи. На рисунке 1 представлено сравнения IOSO технологии оптимизации с генетическим алгоритмом оптимизации на известной тестовой функции: Levy [1] с наличием областей невычислимости. На тестовой функции Belegundu [2] с наличием ограничений алгоритм IOSO также имеет преимущество перед генетическим алгоритмом (рис2).

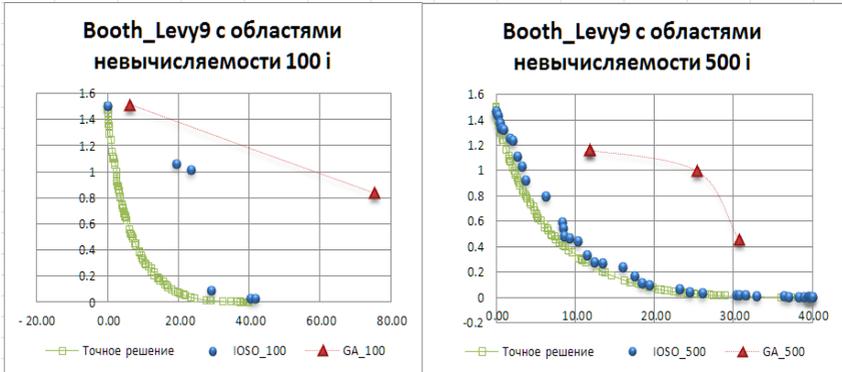


Рис.1 Сравнение сходимости IOSO и генетического алгоритма при выполненных 100 и 500 итерациях на тестовой задаче Levy с областями невычисляемости.

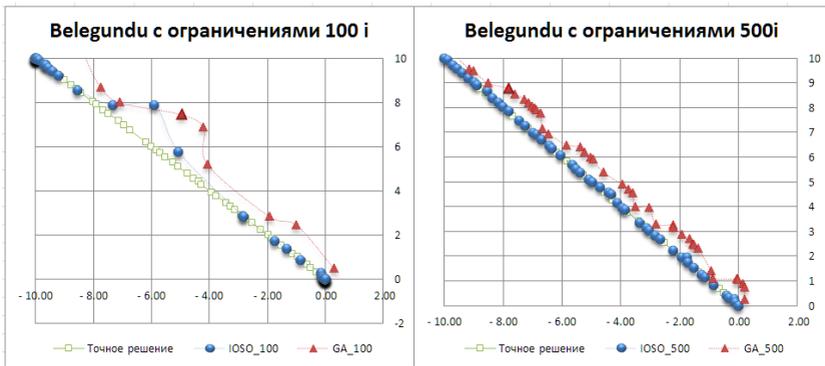


Рис.2 Сравнение сходимости IOSO и генетического алгоритма при выполненных 100 и 500 итерациях на Belegundu с наличием ограничений.

Безусловно, на основании двух рассмотренных тестовых задач нельзя делать полноценные выводы об эффективности IOSO технологии оптимизации, но задачи данного класса наиболее часто встречаются при моделировании сложных технических систем, и алгоритм оптимизации должен эффективно решать их.

1.2. Программа газодинамического моделирования FlowVision

Решение задач поиска оптимальной геометрии изделий в области течения жидкости и газа предъявляет повышенные требования к пакетам газодинамического моделирования, главным из которых, является возможность автоматического построения адаптивной конечно-объемной сетки на основе меняющейся трехмерной геометрической модели.

Ввиду ресурсоемкости газодинамического моделирования должна обеспечиваться хорошая масштабируемость процесса решения на многопроцессорных вычислительных системах. Данным требованием удовлетворяет пакет газодинамического моделирования FlowVision.

Программный комплекс FlowVision рассчитывает движение жидкостей и газов на базе уравнений Навье Стокса, уравнений энергии и неразрывности. В программном комплексе есть ряд дополнительных моделей:

- несколько моделей турбулентности и специальные пристеночные функции для моделирования силы трения и тепловых потоков,
- модель турбулентного переноса тепла в металлах,
- несколько моделей массопереноса (горения и химических реакций),
- модели P1 и оптически тонкого слоя для расчета задач теплообмена излучением,
- модель VOF для решения задач со свободной поверхностью в одно- и двухфазной постановках.
- модель зазора, позволяющая корректно рассчитывать течение жидкости или газа через тонкие зазоры не разрешая их расчетной сеткой.

В программном комплексе FlowVision используется динамическая локально-адаптивная сетка с преобладанием шестигранных прямоугольных ячеек [3].

Локальная адаптация представляет собой деление ячейки на 8 равных частей (пополам по каждому направлению). Она может

быть разного уровня. Уровень адаптации – это количество разбиений исходной ячейки (рис.3).

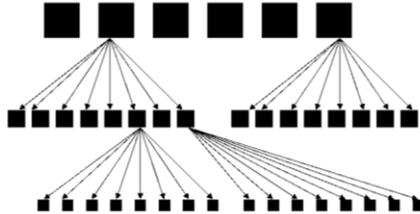


Рис. 3. Адаптация расчетной сетки.

На границах расчетной области используется метод подсеточного разрешения геометрии (рис.4): прямоугольные шестигранники начальной сетки обрезаются фасетками САD-модели с образованием многогранников произвольной формы. Данный способ адаптации имеет более высокий порядок, чем используемый в большинстве программ cut-cell метод.

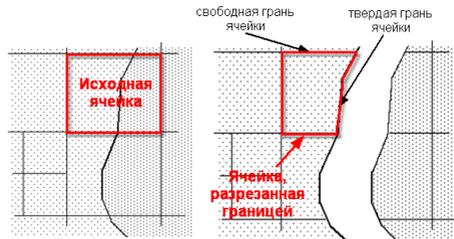


Рис.4. Подсеточное разрешение геометрии.

Движение тел внутри расчетной области рассчитывается с использованием модели подвижных тел.

2. Программно-аппаратная архитектура, используемая для решения задачи.

Решение задачи оптимизации дутьного тормоза (ДТ) требует нахождения такой его геометрии, которая обеспечивает получение

максимального тянущего усилия при обеспечении ограничений наложенных на конструкцию.

Уникальность решения данной задачи определяется как построением и верификацией гидродинамической модели, так и автоматическим получением оптимального по тянущему усилию варианта геометрии ДТ. Аналогов подобных решений в опубликованной литературе не известно.

Этапу оптимизации геометрии дульного тормоза предшествовал этап проведения газодинамического расчета существующей конструкции в программном комплексе FlowVision. Целями расчета были проверка совпадения расчета с экспериментальными данными и исследование сходимости по сетке для обеспечения получения удовлетворительной точности решения.

Для решения задачи определения оптимальной геометрии многокамерного дульного тормоза использовались:

- CAD-система для построения параметризованной геометрии ДТ. Задавалось 7 параметров, определявших вид и величину вырезов в ДТ (рис.5)

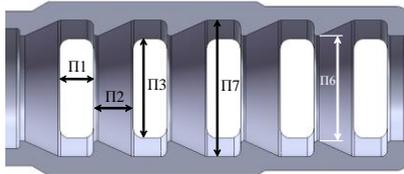


Рис.5 Вид дульного тормоза и некоторые параметры геометрии

- Пакет газодинамического анализа FlowVision для моделирования истечения газов из дульного тормоза с учетом движения снаряда для определения значений нагрузок и тянущего усилия;
- Программный комплекс управления расчетами и оптимизации IOSO для формирования стратегии поиска наилучшего решения и управления расчетами.

Расчетная схема решения задачи (рис. 6) представляет собой интеграцию CAD-системы и FlowVision с платформой IOSO



Рис. 6. Схема оптимизационных расчетов.

Выполнение газодинамического расчета - это достаточно ресурсоемкая задача. Продолжительность одного расчета ДТ составляет порядка 15 часов при использовании 24 вычислительных ядер. Решение задачи оптимизации может потребовать выполнения до 300 расчетов. Поэтому используются процедуры распараллеливания процесса оптимизации на 32 потока. Ввиду того, что CAD-система для перестроения геометрии требует около 1 минуты расчетного времени, распараллеливание процесса запуска CAD-системы не производится. Таким образом, происходит формирование массива файлов с новыми CAD-моделями (32 варианта), которые в параллельном режиме рассчитываются с использованием пакета FlowVision. Решение задачи осуществляется в автоматическом режиме.

Программно-аппаратная реализация (рис.7) представляет собой подключение персонального компьютера с программами IOSO и CAD к суперЭВМ, на которой производится моделирование работы дутьного тормоза газодинамическим решателем FlowVision.

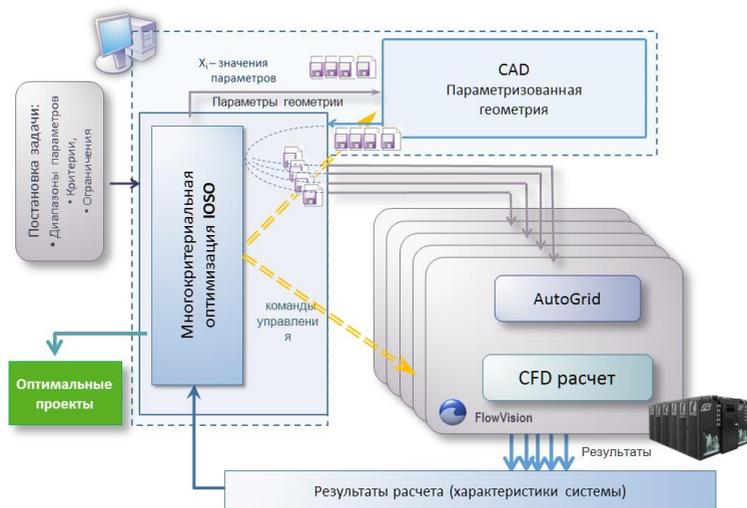


Рис. 7. Схема распараллеленных оптимизационных расчетов.

В задаче оптимизации требуется найти геометрию ДТ, которая обеспечивает максимальное повышение тянущего усилия. Газодинамические расчеты осуществляются на суперЭВМ «Минин» (ЦНИИ «Буревестник»), при этом для расчета используется 768 вычислительных ядер. В результате решения задачи оптимизации получен вариант ДТ с существенным увеличением значений тянущего усилия и импульса.

Следует отметить, что наилучшее для реализации оптимальное значение (точка с наибольшим изменением импульса на рис.8), было получено на 128 итерации (из 300 проведенных), что свидетельствует о высокой эффективности используемого программного комплекса.

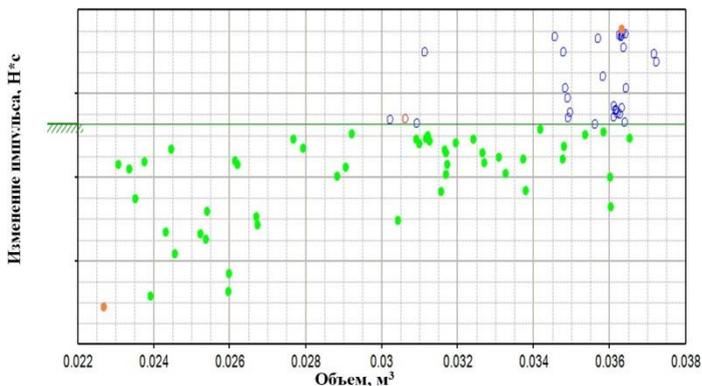


Рис. 8 . Полученные значения изменения импульса и соответствующие им значения объема.

Заключение

Численные методы моделирования и оптимизации являются мощным инструментом, обеспечивающим решение задач повышения эффективности дутьного тормоза и достижения максимально возможной его эффективности. Использование многопроцессорных вычислений позволяет значительно уменьшить сроки и сократить затраты на проектирование модифицированного варианта дутьного тормоза.

Совместное применение программных комплексов FlowVision и IOSO позволяет эффективно использовать многопроцессорный вычислительный комплекс для решения практических задач оптимизации.

Благодарности. Авторы статьи искренне благодарны специалистам компании «Т-платформы» за оказанное содействие.

Список литературы

- [1] Miele A., Cantrell J.W. Study on a memory gradient method for the minimization of functions, J. Opt. theory and Applics., 1969, V.3, No 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/NASA Symposium on Multidisciplinary Analysis and Optimization, 1994. Panama City, Florida. AIAA. Paper 84-4363-CP, pages 1015-1022.
- [3] Aksenov, A.A. Overcoming of Barrier between CAD and CFD by Modified Finite Volume Method/ A.A. Aksenov, A.A. Dyadkin, V.I. Pokhilko // Proc. of "1998 ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference", San Diego, ASME PVP, 1998. V. 377-1.

Об авторе:

[ФОТО автора!]	Юрий Игоревич Бабий
	Директор ЗАО «СИГМА Технологии», разработчик программной платформы управления расчетами и оптимизации IOSO.
	<i>e-mail:</i> babiy@iosotech.com
	Вадим Владимирович Садовский
	ОАО «ЦНИИ «Буревестник»
	Андрей Александрович Аксенов
	К.т.н., Технический директор ООО «ТЕСИС», разработчик программного комплекса газо- гидродинамического моделирования FlowVision
	<i>e-mail:</i> andrey@tesis.com.ru
	Петр Иванович Карасев
	Инженер ООО «ТЕСИС»
	<i>e-mail:</i> petr@tesis.com.ru
	Константин Валериевич Каузнецов
	Инженер ООО «ТЕСИС»
	<i>e-mail:</i> kk@flowvision.ru

Образец ссылки на публикацию:

Ю.И.БАБИЙ, В.В.САДОВСКИЙ, А.А.АКСЕНОВ, П.И.КАРАСЕВ. Использование суперкомпьютера и программных комплексов FlowVision и IOSO для решения задачи повышения эффективности дульного тормоза...// Программные системы: теория и приложения: электрон. научн. журн. 2013. Т. 4, № 3(17), с. ??-??.

URL:

<http://psta.psir.ru/read/???>

Yu. I. Babiy, ZAO *Sigma Technology* company, V.V. Sadovskij, JSC Central Research Institute "Burevestnik" A.A. Aksenov, P.I. Karasev, K. V.Kuznetsov, OOO *TESIS* company Using a supercomputer to solve the problem of the muzzle brake optimization.

ABSTRACT. Optimization study of muzzle brake with goal to achieve maximum tug is described. This study was performed using a supercomputer. Search of optimal parameters and calculations control were done by optimization software IOSO. Simulating of the muzzle brake was carried out using the FlowVision CFD software. The simulation took into account motion of a shell through the muzzle brake.

IOSO solves large-scale one- and multi-criteria optimization problems with a small number of direct references to the mathematical model of the object.

The FlowVision software package is designed to calculate wide range of applications of the dynamics of liquid and gas. Dynamic computational grid with a subgrid resolution allows to quickly and accurately create a computational grid based on geometric models of new designs of the muzzle brake.

A significant increase of the muzzle brake tug in comparison with initial design is shown. This demonstrates a power of use new automated design methods with optimization.

Key Words and Phrases: muzzle brake, multi-objective optimization, IOSO, FlowVision, CFD, gas-dynamic calculation, supercomputer