

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. THERMAL FIELDS MODELING WITH ALLOWANCE OF MICROACCELERATIONS AT THE 'FOTON' SPACECRAFT. / Abrashkin V.I., Kazakova A.E., Vasiliev V.V., Romanenko V.A., Salmin V.V., Nikitin S.A., Polezhaev V.I., Sazonov V.V. // Proceeding 52nd International Astronautical Congress, Oct 2001. Toulouse. France IAF-2001-J.5.07.
2. SIMULATION OF HEAT FIELDS WITH REGARDS TO MICROACCELERATION ON THE SPACECRAFT FOTON. / Abrashkin V.I., Kazakova A.E., Romanenko V.A., Vasiliev V.V., Salmin V.V., Nikitin S.A., Polezhaev V.I., Sazonov V.V. // Proceeding of the International Conference Scientific and Technological Experiments on Russian Foton/Biob Recoverable Satellites: Results, Problems and Outlooks. Samara. Russian Federations. 2000. – P.133-136.

УДК 621.45.03

**ПРИМЕНЕНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ
РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА
КАМЕР СГОРАНИЯ ГТД И ГТУ**

Беляев В.В.

ОАО СНТК им. Н.Д. Кузнецова, г. Самара

Современный подход к проектированию и доводке основных узлов ракетных, авиационных и наземных двигателей предполагает интенсивное использование расчетных методов предсказания их характеристик. Расчетное моделирование рабочих процессов основных узлов проводится на этапе проработки компоновки двигателя и предшествует разработке конструкторской документации, изготовлению и экспериментальной отработке, что позволяет с приемлемой точностью оценить предполагаемый эффект. На этапе доводки изделия проводят расчеты, сопровождающие испытания, для сокращения потребного числа экспериментов. Выполнение таких расчетов может быть основано на численном моделировании рабочих процессов узлов двигателей, которое дополняет натурный эксперимент полнотой информации об исследуемом объекте.

Для освоения численных методов исследований возможно использование обычных персональных компьютеров (ПК). В зависимости от масштаба решаемой численными методами задачи моделирования газодинамических течений требуется соответствующая вычислительная мощность кластерной системы. Известно, что производительность такой системы определяется несколькими параметрами комплектующих, составляющих системный блок узла кластера, а также параметрами системы, обеспечивающей взаимодействие отдельных узлов кластера. Таким образом, в случае наличия соответствующего набора аппаратных и программных средств возможно создание дешевых по сравнению со специализированной техникой достаточно производительных вычислительных кластерных систем.

Так узлами современного вычислительного кластера могут быть системные блоки однопроцессорных ПК, в качестве коммуникационного оборудования можно использовать встроенные или *PCI* сетевые адаптеры 100 (лучше - 1000) Мбит/с, неуправляемые коммутаторы или интеллектуальные концентраторы. Соответствующее программное обеспечение позволяет использовать кластер как удаленный сервер.

Современные сетевые технологии, использующие интерфейсы *Fast Ethernet*, *Gigabit Ethernet*, *Myrinet* и др. позволяют получить немногим меньше, чем пропорциональный прирост производительности для кластеров с числом узлов до 16...32.

По своей производительности современные однопроцессорные ПК позволяют проводить расчеты сравнительно больших *2D* моделей и небольших *3D* моделей (число ячеек до 0,5 млн.) с использованием единичного системного блока. Это модели элементарных элементов конструкции проточной части двигателя, такие, как межлопаточный канал турбокомпрессора; модель одиночной горелки (форсунки) несложной конструкции (течение в завихрителе); модели различного вида каналов простой геометрии (диффузоры, входные и выходные устройства и др.) в стационарной постановке. Для решения более сложных задач течения газа (сектор ступени турбокомпрессора, сектор камеры сгорания и т.п.) необходимо наращивать вычислительную мощность системы путем создания кластера, что можно сделать объединением в единую сеть нескольких производительных ПК и распараллеливанием решаемой задачи.

Размеры цельных моделей основных узлов двигателя (вентилятор, компрессор, камера сгорания, турбина, смеситель, входное устройство и сопло) имеют большую масштабность. Этот фактор не позволяет использовать для расчетов малопроизводительную технику, т.к. при этом затраты (временные и материальные) приближаются к затратам на натурные эксперименты, которые, как известно, дают наиболее достоверную информацию об объекте исследований.

Для однопроцессорных узлов кластера можно считать оптимальной загрузку оперативной памяти (без учета операционной системы) в 400...600 Мб, что для большинства современных пакетов моделирования газодинамики соответствует приблизительно 0,4...0,6 млн. ячеек вычислительной сетки модели. Рациональное использование вычислительных ресурсов предполагает полное размещение задачи в оперативной памяти и проведение вычислений без использования *SWAP*-файла. Следовательно, необходимый минимальный объем оперативной памяти, используемой в одном узле кластера, составляет 0,7...1 Гб.

Моделирование рабочего процесса, например, камер сгорания (КС) весьма затруднительно и сейчас, когда расчетные методы достигли высокой степени совершенства, поскольку решаемые задачи находятся в области смежных областей науки: газовой динамики, тепло-массопереноса, химической кинетики, акустики, теории автоматического управления. Применение численного моделирования для расчета КС осложнено необходимостью адекватного представления в модели большого числа конструктивных элементов малой размерности. Этим определяются высокие требования к вычислительным сеткам. Так, для расчета периодической секторной модели кольцевой КС число ячеек вычислительной структурно-блочной сетки достигает 2...3 млн., тетраэдральной – более 5 млн.

Таким образом, для выполнения численного расчета секторной модели КС со структурной вычислительной сеткой достаточно задействовать 6...8 системных блоков. В случае использования ПК, которыми оснащены рабочие места работников фирмы, запуск вычислительных процессов лучше проводить в нерабочее время.

По опыту ОАО СНТК им. Н.Д. Кузнецова численное моделирование позволяет существенно сократить объем экспериментальной отработки узлов двигателя благодаря более полному представлению их рабо-

чего процесса, включая эмиссионные характеристики. Возможности глубокого анализа влияния различных факторов на рабочий процесс узлов способствуют повышению эффективности двигателя в целом. Известно также, что отношение стоимостей численного и натурного экспериментов в общем случае составляет около 100.

На основании вышесказанного можно утверждать, что использование численных методов исследований рабочего процесса узлов ГТД и ГТУ в дополнение к натурным экспериментам позволяет значительно снизить суммарную стоимость работ по проектированию и доводке изделия до начала его серийного производства.

УДК 621.438.577.4

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ОПТИМИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАРОГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ

Васильев В.И., Постников А.М., Ярославцев В.Г., Ануров Ю.М.,
Федорченко Д.Г.

*ОАО СНТК им. Н.Д.Кузнецова, г. Самара
«Энергомаш ЮК.», г. Санкт-Петербург*

Для снижения эмиссии вредных веществ обычно организуют горение предварительно перемешанной (гомогенной) топливовоздушной смеси (ТВС) в узком диапазоне температуры пламени $T_{пл} = 1750 \dots 1850 \text{ K}$, где генерация оксидов азота NO_x , монооксида углерода CO и несгоревших углеводородов CH достаточно низка. Температура пламени и, следовательно, концентрации вредных веществ NO_x , CO , CH зависят от коэффициента избытка воздуха α предварительно перемешанной топливовоздушной смеси в первичной зоне горения. При традиционной системе регулирования ГТУ коэффициент α в зоне горения существенно изменяется с изменением режима работы двигателя. При значительном уменьшении мощности двигателя ТВС обедняется (коэффициент α увеличивается) и температура пламени настолько снижается, что горение становится неэффективным, - уменьшается полнота сгорания топлива.