

Годлевский, Л.Я. Шумихин

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МАЛОРАЗМЕРНЫХ ГАЗОГЕНЕРАТОРОВ  
В НЕПРЕРЫВНОМ И ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

Созданная в рамках САПР подсистема моделирования характеристик газогенераторов в непрерывном и импульсных режимах работы позволяет определить влияние изменения условий эксплуатации (входных давлений, температур, времени включения) и геометрических размеров газогенератора на его эффективность.

Проектирование малоразмерных газогенераторов (ГГ) и двигателей управления на химическом топливе, применяющихся в различных системах энергетических установок, на этапе технического предложения может быть осуществлено с помощью реализованного в САПР ГГ метода [1], позволяющего для требуемых условий технического задания определять оптимальное значение вектора проектных параметров изделия. Однако при анализе достоинств и недостатков оптимального технического решения более рациональным может оказаться решение, обеспечивающее меньшее значение критерия оптимальности, но обладающее лучшими качествами по другим критериям. Все это требует проведения моделирования характеристик объекта в широком диапазоне изменения эксплуатационных факторов и технологического разброса параметров еще на стадии проектирования. Задача моделирования характеристик ГГ может возникнуть также при необходимости идентификации причины того или иного изменения параметров изделия в процессе его эксплуатации.

С формальной точки зрения все задачи математического моделирования предполагают проведение вычислительного эксперимента на математической модели для определенного состава вектора влияющих факторов, который включает любой режимный или геометрический параметр, оказывающий влияние на ту или иную характеристику рабочего процесса в рамках математической модели.

В связи с этим подсистема выбора оптимальных параметров САПР ГГ была доработана в соответствии с требованиями задачи моделиро-

---

Динамические процессы в установках ЛА. Куйбышев, 1990.

---

вания: в некоторых модулях расчета отдельных стадий рабочего процесса были использованы более точные, а значит, и более сложные математические модели, что связано с уменьшением при моделировании числа вариантных расчетов. В частности, в модуле расчета термодинамических свойств продуктов сгорания вместо полиномиальных математических моделей используется интерполяция результатов расчета идеальных параметров.

Общая математическая модель учитывает:

гидравлические и динамические характеристики электроклапанов; статические и динамические характеристики коллекторов подвода топлива;

реальное распределение состава продуктов сгорания по сечению камеры;

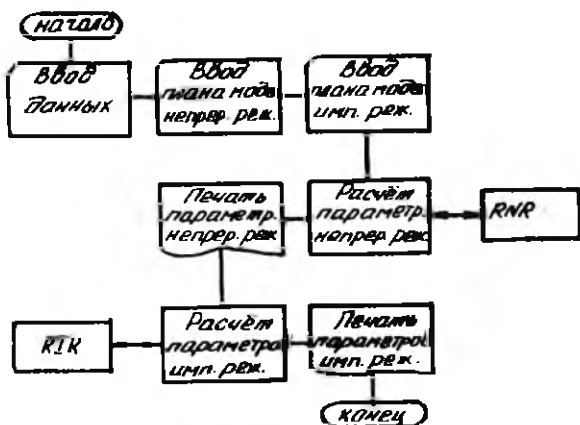
потери из-за неполного тепловыделения, трения, химической неравновесности и т.д.;

наличие задержки воспламенения, неидеальность переходных процессов при запуске и останове.

Алгоритм решения задачи математического моделирования статических и динамических характеристик газогенераторов и двигателей управления представлен на рис. 1, где показано взаимодействие основных модулей. Он реализован на алгоритмическом языке Фортран-4 в операционной системе СВМ ЕС. Общий объем прикладного программного обеспечения подсистемы оптимизации параметров и моделирования характеристик ГТ имеет объем около 500 КБайт в исходных модулях.

Полученная подсистема позволяет проводить компьютерные исследования влияния на выходные характеристики ГТ сформулированных в техническом задании на проектирование условий эксплуатации: величины давления подачи топлива ( $P_{вх}^{н.ок}$ ) и стабильности его поддержания во времени ( $\Delta P_{вх}^{н.ок}$ ), соотношения между динамическими и стационарными режимами работы, величины температуры топлива, допуска на стабильность обеспечения расхода рабочего тела ГТ ( $[\delta \dot{m}_r]$ ) и его состава ( $[\delta k_m]$ ), а также технологических погрешностей изготовления элементов ГТ, времен его включения, геометрических размеров и т.д.

Как показали проведенные исследования, наиболее существенное влияние на характеристики газогенераторов оказывает давление подачи топлива и существенно меньше его температура. Результаты оп-

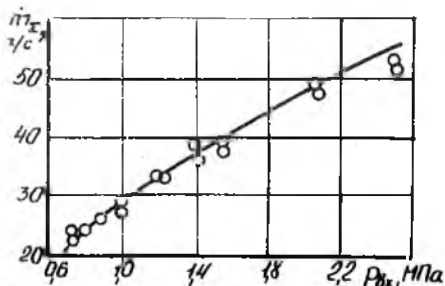


Р и с. 1. Модульный анализ алгоритма математического моделирования характеристик

ределения статической характеристики ПТ  $\dot{m}_{\Sigma} = f(p_{вх}^{г.ок})$  с номинальным расходом 40 г/с, представленные на рис. 2, не только иллюстрируют это влияние, но и показывают возможность применения математического моделирования, поскольку экспериментальные результаты

совпадают с модельными со средней квадратичной погрешностью адекватности приблизительно 3%.

Входное давление оказывает существенное влияние и на оптимальные параметры ПТ, работающего в импульсных режимах. Выбор оптимальных параметров газогенераторов с расходом  $\dot{m}_{\Sigma} = 10$  г/с при различных входных давлениях для равномерной циклограммы ра-



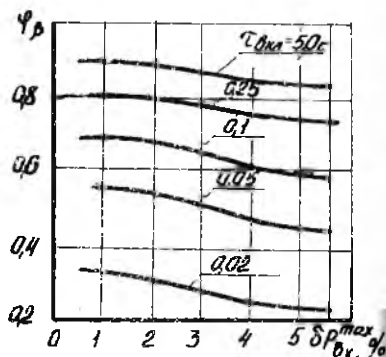
Р и с. 2. Сравнение результатов моделирования и экспериментальных характеристик

боты показал, что с ростом  $p_{вх}^{г.ок}$  существенно меняются оптимальные параметры ПТ, в частности, снижается оптимальная приведенная длина камеры сгорания, причем это снижение тем больше, чем больше доля нестационарных режимов в циклограмме работы газогенератора. Про-

веденное моделирование характеристик ГТ, связывающих полноту сгорания топлива с длительностью включения и приведенной длиной камеры сгорания  $\beta$  ( $\tau_{вкл} > 4\tau_p$ ), показало, что для каждой длительности команды существует оптимальное значение  $\beta_{opt}$ , причем тем больше, чем больше  $\tau_{вкл}$ . Моделирование подобной характеристики при других входных давлениях топлива показывает, что и в этом случае велико влияние этого параметра, что требует проведения многофакторных компьютерных экспериментов и обобщения результатов последних описательными моделями [2, 3].

Нестабильность во времени давления подачи топлива также оказывает существенное влияние на оптимальные параметры газогенератора и его экономичность при неизменных остальных условиях проектирования. В частности, моделирование показывает, что увеличение допуска на нестабильность во времени давления подачи топлива  $\delta p_{вх}$  от 1,5 до 6% приводит к двукратному увеличению оптимальных геометрических размеров ГТ и снижению на 25% полноты сгорания топлива при длительности включения  $\tau_{вкл} = 0,02$  с, при  $\tau_{вкл} > 0,02$  с снижение экономичности меньше (рис. 3). Аналогично длительности включения ГТ влияет и изменение давления подачи топлива.

Современные энергетические системы предъявляют повышенные требования к точности поддержания расхода  $[\delta \dot{m}_s]$  и состава  $[\delta \chi_{i,m}]$  рабочего тела ГТ, так как эти характеристики определяют стабильность работы системы и одновременность выработки компонентов топлива. Отклонения расхода и состава рабочего тела связаны с многочисленными факторами: отличия условий эксплуатации от номинальных (изменение давлений подачи топлива как в статике, так и в динамике, изменение гидравлического сопротивления элементов дозирующей сис-



Р и с. 3. Влияние точности поддержания входного давления топлива на энергетические характеристики

темы под влиянием тепловых факторов [4], технологические погрешности изготовления элементов), изменение параметров рабочего процесса (полноты сгорания, потерь на трение и т.д.), что тоже связано с технологическими различиями в изготовлении ИГ (воспроизводимостью конструкции). Проведенное исследование при проектировании малоразмерного газогенератора показало, что при прочих равных условиях повышение требований к стабильности параметров  $\delta \dot{m}_z$  и  $\delta k_{\dot{m}}$  приводит к увеличению размеров камеры ИГ и снижению его экономичности, особенно при работе на коротких включениях, где велика доля переходных процессов.

Разработанный комплекс программ позволяет проводить также моделирование влияния технологии изготовления элементов дозирующей системы на экономичность работы ИГ в импульсном режиме. Выполненные исследования показали, что снижение требований к точности изготовления элементов дозирующей системы (форсунок, коллекторов и т.д.) вызывает увеличение значений гарантированных перепадов давления на настроечных элементах, а это, в свою очередь, приводит к ухудшению динамических характеристик и снижению экономичности оптимизированных ИГ, изготовленных без технологических погрешностей, на коротких включениях, в частности, до 40% при  $T_{вкл} = 0,02$  с. Примерно такое же влияние оказывают и увеличенные в пределах допуска размеры проходных сечений элементов дозирующей системы, что связано с необходимостью применения настроечных элементов меньшего проходного сечения и увеличением в связи с этим характерных времен заполнения коллекторов.

Таким образом, разработанная подсистема моделирования характеристик малоразмерных газогенераторов и двигателей управления в непрерывном и импульсном режимах работы позволяет уже на стадии проектирования в САПР оценивать влияние изменения условий эксплуатации, технологических погрешностей изготовления элементов и других факторов на их характеристики и выявлять рациональные технические решения.

## Библиографический список

1. Годлевский В.Е., Шумихина Л.Я. Оптимизация параметров малоразмерных газогенераторов с учетом динамических характеристик //Динамические процессы в силовых и энергетических установках летательных аппаратов: Сб. науч. тр. Куйбышев. авиац. ин-т, Куйбышев, 1988. С. 102-108.

2. Годлевский В.Е., Кондрусев В.С., Шумихина Л.Я. Аппроксимация дискретно заданной многомерной функции полиномиальными зависимостями //Динамика теплофизических процессов в элементах энергетических аппаратов: Сб. науч. тр. Челяб. политех. ин-т, Челябинск, 1989. С. 60-61.

3. Годлевский В.Е., Кондрусев В.С., Шумихина Л.Я. Идентификация нелинейных математических моделей теплофизических процессов //Динамика теплофизических процессов в элементах энергетических аппаратов: Сб. науч. тр. Челяб. политех. ин-т. Челябинск, 1989. С. 17-18.

4. Годлевский В.Е., Нитодюк В.Е., Сулинов А.В. Особенности расчета гидросопротивления и теплообмена при однофазном и двухфазном течениях в капиллярных трубках //Инженерно-физический журнал. 1983. Т. 45. № 2. С. 327. Деп. в ВИНТИ 01.04.83. № 1670.

УДК 629.78.064

А.Е.Жуковский, А.Ф.Малеев, Д.Н.Новиков,  
О.И.Сауленко

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К МОДЕЛИРОВАНИЮ  
ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ДВИГАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ  
КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Применительно к ДУ рассмотрен подход к моделированию динамических процессов в сложной технической системе, а также алгоритмическая и программная реализация указанного подхода.

---

Динамические процессы в установках ЛА. Куйбышев, 1990.

---