Библиографический список

I. 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. I02-I08.

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. 60-6I.

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. I7-I8.

4. Годлевский В.Е., Нигодюк 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 ВИНИТИ 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.

Проектирование современных энергодвигательных комплексов(ЭДК) невозможно без прогнозирования динамических характеристик и выходных параметров агрегатов, систем и ЭДК в целом. Этим обусловлена особая актуальность проблем математического моделирования ЭДК как сложного объекта.

Структурно ЭДК представляет собой объект, состоящий из блоков с различными по характеру физическими процессами, а следовательно, разным математическим описанием процессов в моделях блоков: системы подачи рабочего тела и энергоблока (ЭБ).

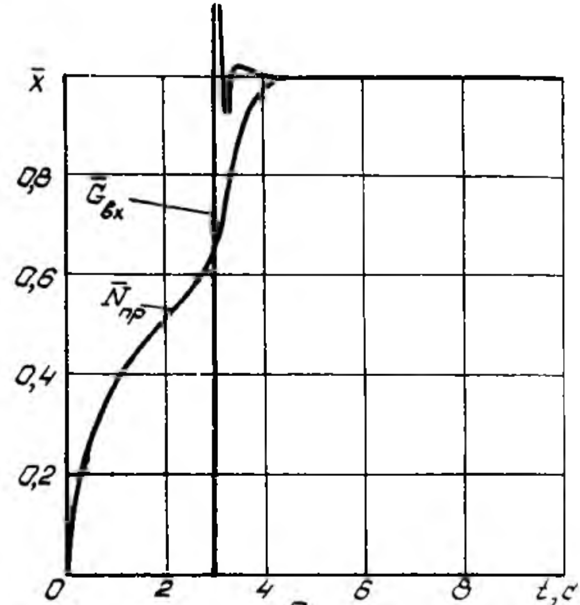
Динамические процессы в системе подачи рассматриваются с использованием математического аппарата для систем с распределенными параметрами, т.е. описываются квазигиперболическими уравнениями в частных производных [I], которые решаются, как правило, методом характеристик.

Математическая модель ЭБ состоит из трех частей: модели кинетики ЭБ, тепловой задачи и задачи движения, решение которых согласуется между собой по параметрам состояния рабочего тела в итерационном цикле на каждом шаге интегрирования по времени. Математическая модель представляет собой систему обыкновенных дифференциальных и алгебраических уравнений, решаемую конечно-разностными методами.

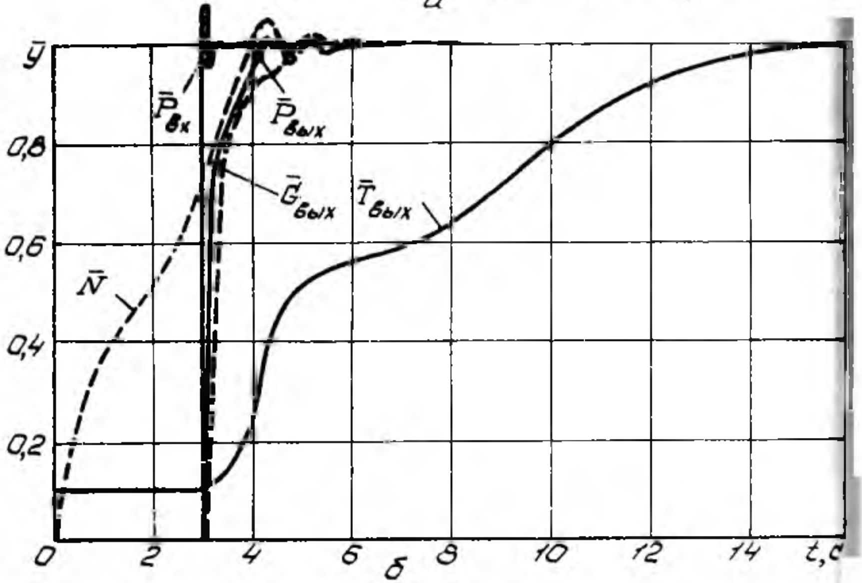
Задача математического описания каждого из этих блоков успешно решается автономно. Задача нахождения совместного описания с использованием "полных" моделей блоков если и решается, то весьма сложно и громоздко. Поэтому рационально один блок оставить в "полном" описании, а другой блок заменить упрощенной моделью, адаптированной к "полному" описанию первого.

Для решения задачи оценки влияния динамических процессов в системе подачи на выходные параметры ЭДК выберем ее в качестве "главного" блока. Адаптированный блок будем представлять в виде "черного ящика", имея в виду лишь его входные и выходные параметры.

Входными параметрами адаптированной модели являются процессы изменения во времени программной мощности $N_{пр}$, массового расхода на входе ЭБ $\dot{m}_{вх}$, температуры рабочего тела на входе ЭБ $T_{вх}$. Выходными – процессы изменения во времени реальной мощности N, расхода на выходе ЭБ $\dot{m}_{вых}$, давления $P_{вых}$, температуры $T_{вых}$, а также давления на входе в ЭБ $P_{вх}$. Посред-



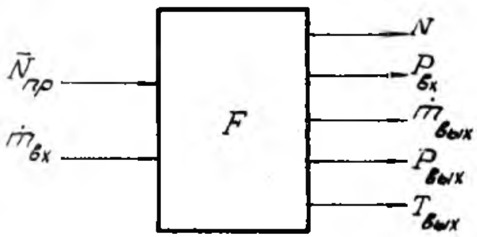
а



б

Р и с. I. Графики изменения относительных значений параметров, полученных при моделировании на "полной" модели РУ:
а – входные параметры; б – выходные параметры

ством $P_{вх}$ осуществляется обратная связь от адаптированного к главному блоку. Графики изменения во времени входных и выходных параметров при запуске ЭБ, полученные по результатам численного эксперимента на "полной" модели ЭБ, представлены на рис. I. Схема адаптированной модели представлена на рис. 2.



Р и с. 2. Адаптированная модель РУ

Форма адаптированной модели выбирается таким образом, чтобы обеспечить алгоритмическую совместимость двух блоков при их совместном решении.

Формировать модели требуемой формы, опираясь лишь на "экспериментальные" данные, позволяют методы теории идентификации систем. Одним из самых простых и удобных методов является метод наименьших квадратов [2], который позволяет проводить идентификацию во временной области, допускает большое разнообразие форм моделей и не требует априорной информации. Модель определим в виде функциональной зависимости

$$y_j = \Phi_j (X_i, A_K, B_S), \; j = 1, \ldots n, \qquad (I)$$

где y_j – вектор временной реализации j -го выходного сигнала, взятого с определенной дискретностью; X_i – вектор временной реализации i -го входного сигнала, взятого с дискретностью, равной дискретности выходного параметра; A_K, $K = 1 \ldots \ell$ – неопределенные коэффициенты модели; B_S, $S = 1 \ldots r$ – неопределенные параметры времени линий задержки; Φ_j – определенные функции.

Процедура нахождения неопределенных параметров линий задержки и неопределенных коэффициентов состоит в минимизации критерия ошибки

$$E_j = e_j I e_j^T ,$$

где

$$e_j = y_j - y_{мод\,j} ,$$

где I – единичная матрица, $y_{мод\,j}$ – результат расчета по модели (I) с текущими коэффициентами.

Для минимизации критерия ошибки используется симплексный метод прямого поиска Нелдера-Мида [3].

При наличии нескольких реализаций "экспериментальных" данных оптимизации формы модели заключается в минимизации интегрального критерия ошибки

$$E_{\Sigma j} = \sum_{p=1}^{q} E_j^{p} , \quad j = 1, \ldots n ,$$

где q – количество реализаций "экспериментальных" данных.

Предложенный выше подход реализован в виде программы для ЭВМ. По "экспериментальным" данным (рис. I) получена линейная модель ЭБ. С учетом перехода от относительных параметров $\bar{A}$ к абсолютным A формулы имеют вид

$$P_{вх}(t) = 3{,}57 \cdot 10^4 - 8{,}366 \cdot 10^4 \bar{N}_{пр}(t) + 29{,}32 \cdot 10^5 \dot{m}_{вх}(t),$$

$$\bar{N}(t) = -0{,}213 + 1{,}329 N_{пр}(t) - 0{,}167\, \dot{m}_{вх}(t),$$

$$P_{вых}(t) = -980 - 1{,}179\, P_{вх}(t) + 61{,}063 \cdot 10^5 \dot{m}(t),$$

$$\dot{m}_{вых}(t) = 1{,}7 \cdot 10^{-3} + 3{,}955\, \dot{m}_{вх}(t) - 0{,}1045 \cdot 10^{-5} P_{вх}(t),$$

$$T_{вых}(t) = 285{,}6 - 2069{,}3\, \dot{m}_{вх}(t) + 5{,}85\, \bar{N}_{пр}(t) + \\ + 2285{,}6\, \bar{N}_{пр}(t - 4{,}3\,с) + 62{,}4\, \bar{N}_{пр}(t - 8{,}6\,с) + \\ + 1381{,}6\, \bar{N}_{пр}(t - 12{,}9\,с) + 214{,}8\, \bar{N}_{пр}(t - 17{,}2\,с),$$

где относительная программная мощность аппроксимируется полиномом в зависимости от времени

$$N_{пр}(t) = \begin{cases} 0, & t < 0; \\ 0{,}1103 + 0{,}2816t - 0{,}0720t^2 + 0{,}0238t^3 - \\ -0{,}00263t^4, & 0 \leq t \leq 5; \\ 1, & t > 5. \end{cases}$$

Таким образом, разработана методика математического описания сложных структурно разнородных объектов типа двигательных установок на основе теории идентификации систем. Разработано программное обеспечение, реализующее названную методику, получен вариант результата расчета.

Библиографический список

I. Лямаев Б.Ф., Небольсин Г.П., Нелюбов В.А. Стационарные и переходные процессы в сложных гидросистемах /Под ред. Б.Ф.Лямаева. Л.: Машиностроение, 1978. 192 с.

2. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления. М.: Мир, 1975. 683 с.

3. Банди Б. Методы оптимизации. М.: Радио и связь, 1988. 127 с.