

УДК 621.438

А.И. ТАРАСЕНКО

*Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Украина***ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАСЧЕТНЫХ СХЕМ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ГТД СО СВОБОДНОЙ СИЛОВОЙ ТУРБИНОЙ**

Рассматривается газотурбинный двигатель (ГТД) со свободной силовой турбиной, работающей на генератор в условиях электростанции. Регулирование газотурбинного двигателя осуществляет регулятор на основе управляющей ЭВМ. Проведено сравнение переходных процессов, полученных с помощью упрощенной математической модели газотурбинного двигателя, с графиками реальных (архив экспериментов) переходных процессов, полученных в условиях электростанции. Сделан вывод о границах применения упрощенной методики и достоверности результатов, полученных с ее помощью.

Ключевые слова: газотурбинный двигатель, регулятор, пропорциональный алгоритм, управляющая ЭВМ, экспериментальное подтверждение.

Введение

Рассматривается газотурбинный двигатель (ГТД) содержащий свободную силовую турбину и газогенератор (одно или двухкаскадный турбокомпрессор).

Система регулирования ГТД имеет датчики скорости вращения силовой турбины, скорости вращения контуров турбокомпрессора и датчик активной мощности генератора. Считается, что система регулирования обрабатывает сигналы этих датчиков корректно и с достаточной скоростью.

1. Формулирование проблемы

Требуется получить и экспериментально подтвердить упрощенную математическую модель газотурбинного двигателя со свободной силовой турбиной. Под упрощенной математической моделью понимается совокупность дифференциальных уравнений движения газотурбинного двигателя с учетом применяемых алгоритмов регулирования, для реализации которой на ЭВМ требуется минимальное количество исходных данных.

В статье [1] изложена упрощенная математическая модель газотурбинного двигателя. Настоящая статья посвящена сравнению этой модели для случая пропорционального регулирования с экспериментом.

2. Решение проблемы

Опишем математическую модель согласно [1].

$$\begin{cases} \dot{\bar{n}}_k T_k = \bar{h} (2 \bar{n}_k - \bar{n}_k^2) - \bar{n}_k^2; \\ \dot{\bar{n}}_g T_g = (\bar{n}_k - \bar{n}_{kx}) (2 \bar{n}_g - \bar{n}_g^2), \end{cases} \quad (1)$$

где \bar{n}_k – относительная скорость турбокомпрессора;

\bar{n}_g – относительная скорость генератора; \bar{n}_{kx} – относительная скорость турбокомпрессора, соответствующая холостому ходу генератора; \bar{h} – относительный расход топлива; T_k – постоянная времени турбокомпрессора; T_g – постоянная времени генератора.

Исходными данными для математической модели ГТД являются – постоянные времени T_k и T_g , а также скорость турбокомпрессора на холостом ходу – \bar{n}_{kx} .

Топливоподача \bar{h} формируется регулятором по следующему алгоритму:

$$\bar{h} = \begin{cases} 1 & \text{при } \bar{n}_g \leq \bar{n}_z - \Delta; \\ \frac{\bar{n}_z - \bar{n}_g}{\Delta} (1 - \bar{h}_x) + \bar{h}_x & \text{при } \bar{n}_z > \bar{n}_g > \bar{n}_z - \Delta; \\ \bar{h}_x & \text{при } \bar{n}_g > \bar{n}_z, \end{cases}$$

где \bar{n}_z – заданная относительная скорость генера-

тора; Δ – статизм регулятора; $\bar{h}_x = \frac{\bar{n}_{kx}}{\bar{n} (2 - \bar{n}_{kx})}$ –

относительная топливоподача, соответствующая холостому ходу генератора;

Уравнения (1) получены из условия, что момент, потребляемый компрессором, пропорционален квадрату угловой скорости, а момент, развиваемый турбиной, аппроксимирован параболой с максимумом на номинальной скорости ее вращения.

Считается, что мощность газотурбинного двигателя пропорциональна скорости вращения газогенератора (в случае двухкаскадного турбо-

компрессора это скорость вращения контура высокого давления).

Система уравнений (1) решается численным методом Хемминга на ЭВМ. Решения получены в виде графиков, которые сравниваются с экспериментальными.

Рассмотрим случай аварийного останова на мощности 9 МВт (рис. 1, 2).

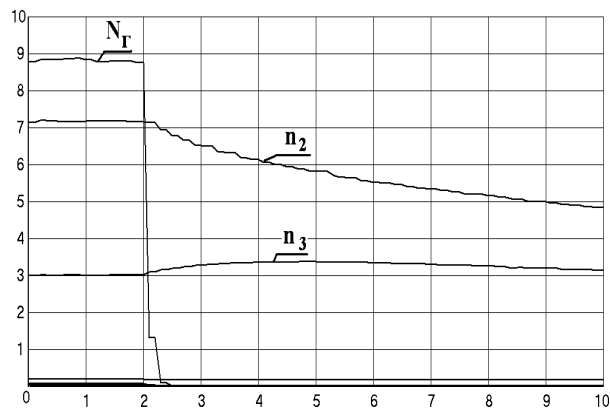


Рис. 1. Переходный процесс при аварийном останове на мощности 9 МВт, полученный экспериментально:
 n_2 – скорость вращения турбокомпрессора;
 n_3 – скорость вращения генератора;
 $N_Г$ – мощность генератора

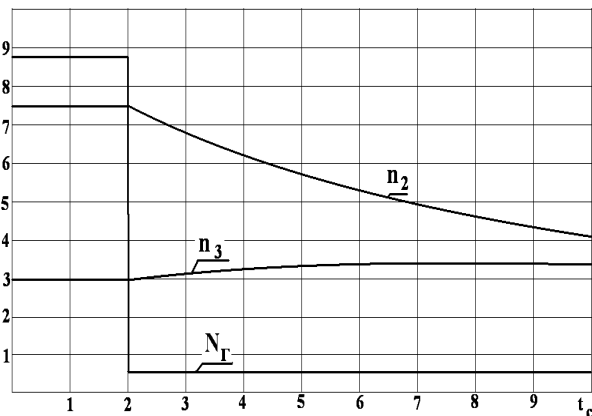


Рис. 2. Переходный процесс при аварийном останове на мощности 9 МВт, полученный расчетом на ЭВМ:
 n_2 – скорость вращения турбокомпрессора;
 n_3 – скорость вращения генератора;
 $N_Г$ – мощность генератора

Для случая сброса нагрузки важными являются величины постоянных времени. Если их определить с помощью графика рис. 1, они будут завышены. Этот случай соответствует рис. 3.

Рис. 4 и 5 показывают хорошее совпадение при существенном сбросе мощности. При их анализе следует учитывать, что положение дозатора не равно топливоподаче и ограничения.

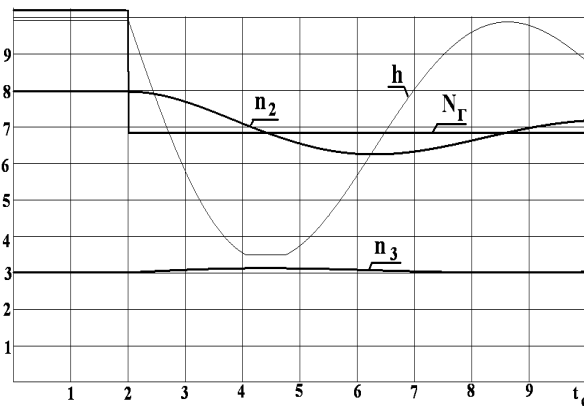


Рис. 3. Переходный процесс при сбросе мощности с 10,4 до 6,8 МВт, полученный расчетом на ЭВМ:
 n_2 – скорость вращения турбокомпрессора; n_3 – скорость вращения генератора; $N_Г$ – мощность генератора; h – относительная топливоподача

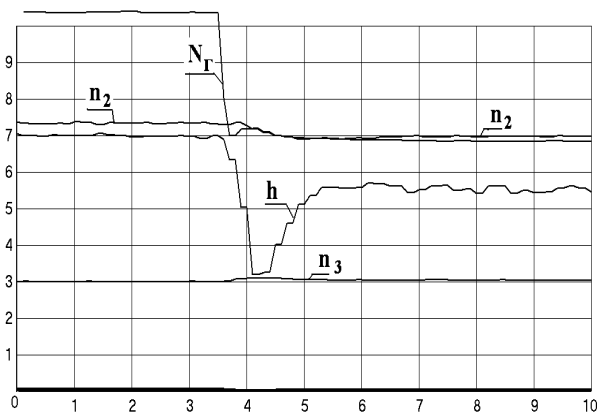


Рис. 4. Переходный процесс при сбросе мощности с 10,4 до 6,8 МВт, полученный экспериментально:
 n_2 – скорость вращения турбокомпрессора; n_3 – скорость вращения генератора; $N_Г$ – мощность генератора; h – положение дозатора в процентах

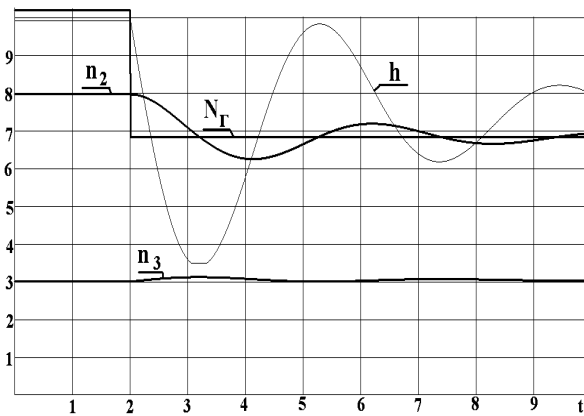


Рис. 5. Переходный процесс при сбросе мощности с 10,4 до 6,8 МВт, полученный расчетом на ЭВМ:
 n_2 – скорость вращения турбокомпрессора; n_3 – скорость вращения генератора; $N_Г$ – мощность генератора; h – относительная топливоподача

Заклучение

Сравнительный анализ графиков рис. 1 и рис. 2, а также рис. 3 и рис. 4, 5 показывает возможность применения предложенной математической модели для анализа переходных процессов, выбора и отладки алгоритмов регулирования. Устойчивость реальных процессов лучше расчетных.

Литература

1. Тарасенко А.И. Переходные процессы в ГТД со свободной силовой турбиной при двухимпульсном регулировании / А.И. Тарасенко // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2009. – № 10 (67). – С. 94-97.

Поступила в редакцию 21.05.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М.Р. Ткач, Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев.

**ДОСЛІДНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРАХУНКОВИХ СХЕМ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ
ГТД З ВІЛЬНОЮ СИЛОВОЮ ТУРБІНОЮ**

О.І. Тарасенко

Розглядається газотурбінний двигун (ГТД) з вільною силовою турбіною, яка працює на генератор в умовах електростанції. Регулювання газотурбінного двигуна здійснюється за допомогою регулятора на базі керуючої ЕОМ. Наведено порівняння перехідних процесів, одержаних за допомогою спрощеної математичної моделі газотурбінного двигуна, з графіками реальних (архів експериментів) перехідних процесів, отриманих в умовах електростанції. Зроблено висновок о межах застосування спрощеної методики і достовірності результатів, отриманих за її допомогою.

Ключові слова: газотурбінний двигун, регулятор, пропорційний алгоритм, керуюча ЕОМ, дослідне підтвердження.

**TRANSITIONAL PROCESS IN THE GTE WITH FREE POWER TURBINE
BY DOUBLE-PULSE REGULATION**

A.I. Tarasenko

Gas-turbine engine (GTE) with free power turbine, working on generator in the condition of electric power station is viewed. Regulation of gas-turbine engine realized by double-pulse regulator based on computer. That regulator is measuring speeds of rotation of contours of gas-turbine engine and make measuring of active power that generator produce. We offer a reductive mathematical model of gas-turbine engine, that allow to create an algorithm of regulation and simulate transition process in gas-turbine engine.

Key words: Gas-turbine engine (GTE), regulator, proportional algorithm, control computer, experimental demonstration.

Тарасенко Александр Иванович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры механики и конструирования машин Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев, Украина, e-mail: tai777@ukrpost.net.