

УДК 621.314

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ТУРБИНЫ И РЕГУЛЯТОРА ЧАСТОТЫ
ВРАЩЕНИЯ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ
MATHEMATICAL MODELS OF TURBINE AND SPEED REGULATOR OF
A SYNCHRONOUS MACHINE**

Т.Д. Ковалева

Научный руководитель – А.А. Волков, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

T. Kovaleva

Supervisor – A. Volkau, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: рассмотрены математические модели паровой турбины и регулятора частоты.

Abstract: mathematical models of a steam turbine and a frequency controller are considered.

Ключевые слова: математическая модель, синхронные машины, паровая турбина.

Keywords: mathematical model, synchronous machines, steam turbine.

Введение

Математическое моделирование – это средство изучения реального объекта, процесса или системы путем их замены математической моделью, более удобной для экспериментального исследования с помощью ЭВМ.

Математическая модель является приближенным представлением реальных объектов, процессов или систем, выраженным в математических терминах и сохраняющим существенные черты оригинала.

Основная часть

В качестве основы для расчетной математической модели используется упрощенная схема регулятора с местной жесткой обратной связью. Такой регулятор обеспечивает регулирование по статической характеристике, наклон которой определяется либо коэффициентом статизма σ , либо коэффициентом крутизны частотной характеристики, который равен:

$$k_f = \frac{1}{\sigma}. \quad (1)$$

Исходный режим всех агрегатов в программах, где не учитывается изменение частоты в расчетах установившегося режима, определяется состоянием энергосистемы после отработки вторичных регуляторов частоты на регулирующих агрегатах. Частота при этом практически равна номинальной, а активная мощность соответствует заданной в генераторных узлах. Таким образом, в исходном режиме статическая характеристика каждого агрегата проходит через точку $P_{Г0}$ и $f_0(\omega_0)$ (рисунок 1).

Регулятор приходит в действие и изменяет мощность турбины, если отклонение частоты от исходного значения $f_0(\omega_0)$ превысит зону нечувствительности измерительного органа регулятора.

Мощность паровой турбины определяется соотношением [2]:

$$P_T = A_{II} D H_0 \eta, \quad (2)$$

где D – расход пара в единицу времени (т/час),
 A_{II} – коэффициент пропорциональности,
 H_0 – располагаемый тепловой перепад,
 η – коэффициент полезного действия.

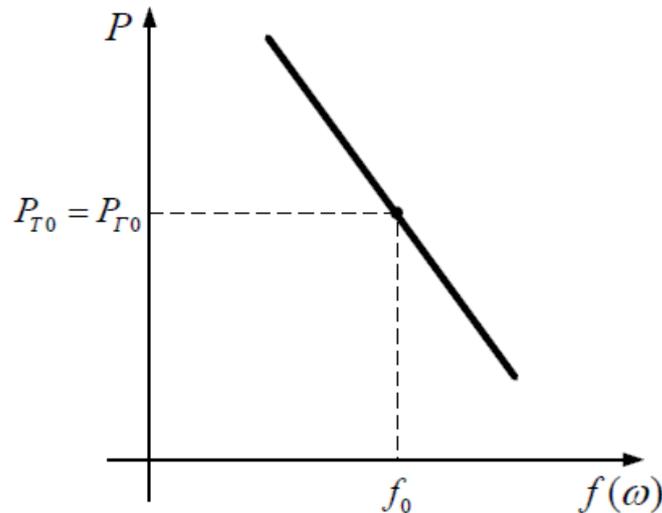


Рисунок 1 – Статическая характеристика агрегата

Паровые турбины имеют два или три цилиндра (части) с промежуточной осушкой (промежуточным перегревом) пара между ними. На рисунке 2,а представлена принципиальная схема паровой турбины, состоящей из цилиндров высокого (ЦВД) и низкого (ЦНД) давления с трактом промежуточного перегрева пара в пароперегревателе (ПП) парогенератора.

Динамика процесса изменения мощности и момента на валу паровой турбины при изменении расхода пара определяется главным образом объемами пара между регулирующими клапанами и соответствующими ступенями турбины, а также в тракте промежуточного перегрева пара. При изменении расхода пара через турбину ЦВД быстро изменяет свою мощность, а ЦНД медленно, запаздывание создает большой буферный объем пара в тракте промежуточного перегрева, значительно ухудшающий динамические характеристики турбины.

Такое поведение паровой турбины можно воспроизвести при помощи простой цепочечной структурной схемы на рисунке 2,б. Входным сигналом является относительное открытие регулирующих клапанов турбины M_c выхода регулятора скорости турбины, выходным сигналом является момент на валу турбины M_T , создаваемый обоими цилиндрами.

Мощность ЦВД по отношению к полной номинальной мощности турбины равна $K_{ЦВД}$.

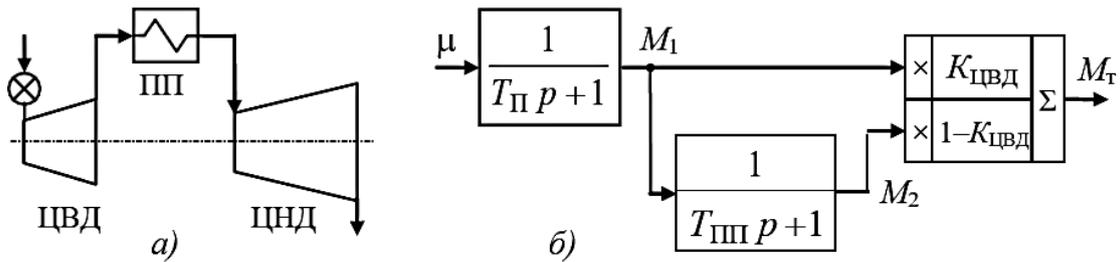


Рисунок 2 – Принципиальная (а) и структурная (б) схемы паровой турбины

Запаздывание изменения момента цилиндров турбины моделируется двумя апериодическими звеньями. Эквивалентная постоянная времени паровых объемов ЦВД $T_{\Pi}=0,1-0,3$ с. Эквивалентная постоянная времени парового объема тракта промежуточного перегрева пара и паровых объемов ЦНД $T_{\Pi\Pi}=3-7$ с. Масштабирующий сумматор формирует суммарный момент на валу турбины. Это относительно простая модель паровой турбины, но при надлежащем выборе постоянных времени она обеспечивает удовлетворительное воспроизведение динамических характеристик не только двух, но и трехцилиндровых паровых турбины.

Модель пригодна также для турбоустановок насыщенного пара АЭС с низкими начальными параметрами пара, у которых между ЦВД и ЦНД устанавливается сепаратор и промежуточный пароперегреватель острым паром.

Структурной схеме на рисунке 2,б соответствует следующая система уравнений [1]:

$$\frac{dM_1}{dt} = \frac{1}{T_{\Pi}} (\mu - M_1), \tag{3}$$

$$\frac{dM_2}{dt} = \frac{1}{T_{\Pi\Pi}} (M_1 - M_2), \tag{4}$$

$$M_T = K_{\text{ЦВД}} M_1 + (1 - K_{\text{ЦВД}}) M_2. \tag{5}$$

Начальные условия определяются по балансу моментов турбины и генератора на валу агрегата в исходном установившемся режиме:

$$M_1 = M_2 = M_T = \frac{M_e}{K_{\text{пр}}}. \tag{6}$$

Использование более полной модели паровой турбины с разбивкой цилиндров на отсеки по числу отборов пара на регенеративный подогрев питательной воды, с детальным учетом паровых объемов на основе цепочечной структурной схемы с произвольным числом звеньев в программе расчета динамики энергосистем затруднено из-за отсутствия исходной информации для настройки цепочечной схемы. В программе расчета динамики энергосистем двухзвенная цепочечная модель является основной, а полная модель турбины дополнительной, используемой при необходимости более точного индивидуального моделирования отдельных агрегатов.

Заключение

С помощью математических моделей паровой турбины и регулятора частоты вращения можно значительно упростить расчеты, а также при применении полной модели турбины возможно добиться максимальной

точности расчетов. Также использование математических моделей для расчета на ЭВМ позволяет избежать ошибок в расчетах.

Литература

1. Калашников А.А. Динамика регулирования турбин. Москва, Энергоатомиздат, 1999. – 328 с.
2. Вайнштейн Р.А. Программные комплексы в учебном проектировании электрической части электростанций: учебное пособие / Р.А. Вайнштейн, В.В. Шестакова, Н.В. Коломиец. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 123 с.