

## ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ

Посвящена синтезу системы управления скоростью вращения вала турбовоздуходувки, применяемой в доменном производстве, на базе электромеханического позиционера. Предложено новое математическое описание динамики паровой турбины.

Присвячено синтезу системи керування швидкістю обертання вала турбовітроудувки, що застосовується в доменному виробництві, на базі електромеханічного позиціонера. Запропоновано новий математичний опис динаміки парової турбіни.

The article is devoted to shaft speed control design in turbo blower, used in blast-furnace process on the basis of electromechanical positioner. A new mathematical description of the dynamics of the steam turbine has been suggested.

На сегодняшний день паровые турбины остаются очень распространенными агрегатами по преобразованию тепловой энергии газов в механическую. Наибольшее применение они нашли в энергетической отрасли как приводы генераторов на различных типах электростанций. Остальная часть паровых турбин используется разными отраслями тяжелой промышленности, в частности, они задействованы в качестве приводов компрессоров.

Регулирование скорости вращения компрессоров является наиболее экономически выгодным способом управления производительностью по сравнению с остальными. Поэтому актуальным является обеспечить привод компрессора высококачественной системой регулирования скорости.

Существующие системы управления турбиной по своей направленности ориентированы на поддержание постоянной скорости вращения на протяжении всего периода работы агрегата. Техническое решение таких систем в большинстве случаев выполнено на гидравлической основе и на сегодняшний день морально и физически устарели. Современное состояние развития электротехнических комплексов и систем дает возможность применять специальный электропривод для модернизации и оптимизации систем регулирования скоростью паровых турбин.

Для построения системы управления турбиной и исследования динамических процессов при регулировании скорости составлена ее математическая модель, которая основана на системе уравнений в операторной форме [1,4]

$$\begin{cases} p\omega = \frac{1}{J_c} (R_{cp} S_l \sqrt{(P_{np} - P_0) \rho} \times \\ \times (\sqrt{2/z} \sqrt{k^* P - h_2 - R_{cp} \omega}) z - M_c), \\ pP_{np} = \frac{\sqrt{\rho}}{V_{np} \cdot C_g} (So(y) \sqrt{P_H - P_{np}} - S_l \sqrt{P_{np} - P_0}), \end{cases} \quad (1)$$

где  $p$  – оператор дифференцирования,  $P_i$  – давления,  $So(y)$  – площадь поперечного сечения устройства

подачи пара (УПП) в зависимости от положения регулирующего органа,  $V_{np}$  – объем паросборника,  $\rho$  – плотность пара,  $z$  – число колес,  $\omega$  – скорость вращения турбины,  $R_{cp}$  – средний радиус колеса,  $h_2$  – энтальпия пара,  $J_c$  – момент инерции турбины и компрессора.

В качестве электропривода УПП выбран электромеханический позиционер со структурной схемой, приведенной на рис.1, на нем  $y$  – линейное перемещение позиционера,  $\omega_d$  – скорость вращения вала позиционера,  $i_d$  – ток якоря,  $E_n$  – ЭДС преобразователя,  $u_v$  – напряжение управления,  $T_n, T_j, T_m$  – постоянные времени преобразователя, якорной цепи и механической части позиционера соответственно

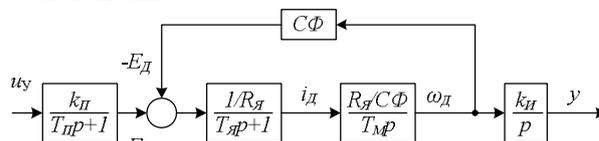


Рис.1. Структурная схема электромеханического позиционера

В качестве электромеханического позиционера может быть использован линейный сервопривод фирмы Exlar.

В результате решения задачи аналитического конструирования регуляторов для позиционера синтезирована система управления с жесткими обратными связями, которая включает в себя три контура управления – током, скоростью вращения и угловым положением вала позиционера соответственно [2, 3].

Аналогично синтезирована система управления скоростью паровой турбины (рис.2). При этом предварительно осуществлена линеаризация уравнений (1). На рис.2:  $\omega^*$  – заданное значение скорости турбины;  $\beta_i, A_i, c_{ij}$  – коэффициенты, рассчитанные аналитически,  $y_2, y_1, y_{00}$  – скорость вращения и линейное положение позиционера, скорость турбины в относительных единицах соответственно.

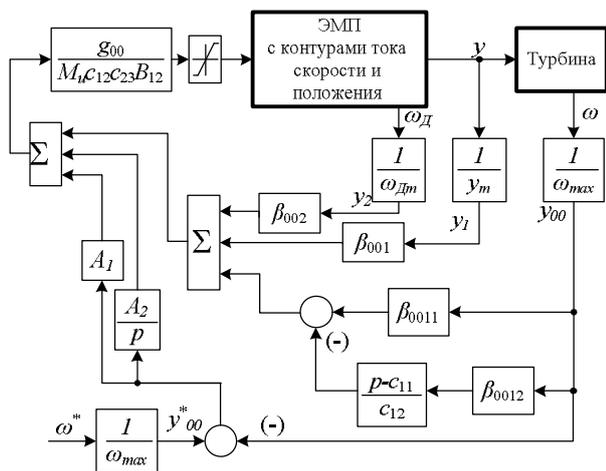


Рис.2. Структурная схема управления скоростью с жесткими обратными связями

Наличие форсирующих звеньев обусловлено невозможностью прямого измерения момента на валу турбины. Математическое моделирование работы синтезированной системы проведено с использованием программного пакета MATLAB Simulink. Процесс моделирования проводился со следующими допущениями:

- при разгоне турбины все процессы изотермические;
- механические детали турбины обладают неограниченной прочностью;
- параметры пара перед турбиной постоянны;
- механическая часть позиционера лишена люфтов.

Задание на изменение скорости вращения  $\omega^*$ , переходные процессы момента сил сопротивления  $M_c$  на валу турбины и скорости вращения паровой турбины  $\omega$  представлены в относительных единицах на рис.3.

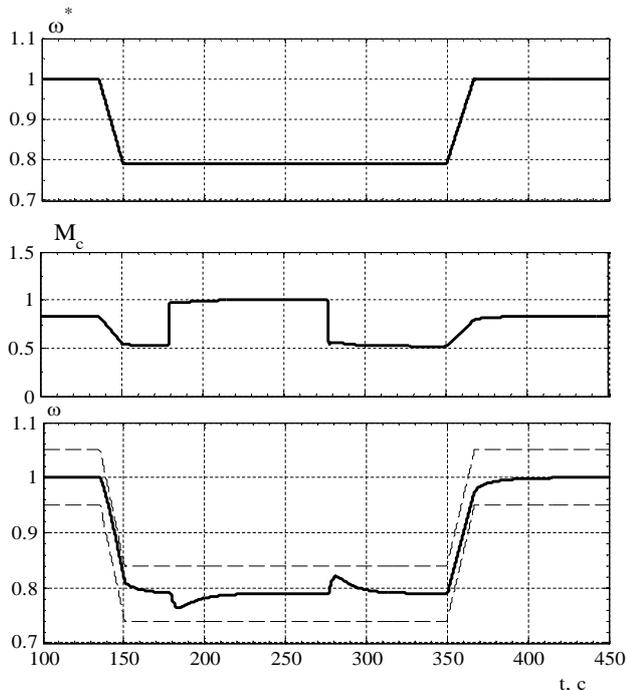


Рис.3. Графики переходных процессов при регулировании скорости и изменении нагрузки паровой турбины

Приведенные результаты исследований свидетельствуют, что электромеханический позиционер может быть успешно применен для построения АСУ паровой турбины.

#### Список использованной литературы

1. Нигматулин И.Н. Тепловые двигатели: учебн. пособие для втузов / И.Н. Нигматулин, П.Н. Шляхин, В.А. Ценев. – М: Выс. школа, 1974. – 375 с.
2. Онищенко Г.Б. Электропривод турбомеханизмов / Г.Б. Онищенко, М.Г. Юньков. – М.: Энергия, 1972. – 240 с.
3. Садовой А.В. Системы оптимального управления прецизионными электроприводами / А.В. Садовой, Б.В. Сухинин, Ю.В. Сохина. – К.: ИСИМО, 1996. – 298 с.
4. Brian Roffel. Process Dynamics and Control Modeling for Control and Prediction / Brian Roffel, Ben Betlem. – John Wiley & Sons Ltd, 2006. – 562 p.

Получено 12.07.2011



Садовой  
Александр Валентинович,  
д.т.н., проректор по  
научной работе ДГТУ,  
г. Днепродзержинск,  
ул. Днепростроевская 2,  
тел. (0569) 55-12-87  
e-mail: sadovoy@dstu.dp.ua



Крупник  
Александр Александрович,  
аспирант ДГТУ,  
e-mail: krupnik\_a@ukr.net.