

УДК 62-83

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПАРОВОЙ КОНДЕНСАЦИОННОЙ ТУРБИНЫ С ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ

*Садовой А.В. д.т.н., проф., Крупник А.А. асп.**Днепродзержинский государственный технический университет**51918, г.Днепродзержинск, ул. Днепростроевская, 2**E-mail: sadovoy@dstu.dp.ua**Тищенко Н.Т., директор**ООО НИП «ДІА»**г. Днепродзержинск, ул. 50-я СРСР, 7д, кв. 76**E-mail: diya@diya.dp.ua*

Розглядається задача складання математичного опису конденсаційної турбіни як пароенергетичного приводу з електромеханічним керуванням при врахуванні особливостей будови пристрою подачі пару.

Ключові слова: математична модель, передавальна функція, парова турбіна, об'єкт керування.

The problem of composition mathematical model of compensation turbine as steam-energy drive with electromechanical control discount design of distributions steam-device is considered.

Key words: mathematical model, transfer function, steam turbine, control object.

Введение. В настоящее время в различных отраслях промышленности в качестве приводных двигателей электрических генераторов и компрессоров широко используются паровые турбины [1].

На паровоздушных станциях металлургического предприятия паровые турбины конденсационного типа используют в качестве приводов воздуходувок, обеспечивающих подачу холодного дутья для доменного производства. Гидромеханические системы регулирования (СР) таких приводов морально и физически устарели [2], что выдвигает задачу разработки современных электромеханических СР, в которых основными исполнительными элементами являются линейные электромеханические преобразователи (ЛЭМП) [3].

Цель работы – разработка математической модели динамики конденсационной паровой турбины с учетом особенностей устройства подачи пара (УПП) и динамики линейного электромеханического преобразователя, необходимой для создания высококачественной СР.

Материал и результаты исследования. Функциональная схема рассматриваемой турбины как объекта управления (ОУ) приведена на рис. 1.

В соответствии с этой схемой на ЛЭМП подается напряжение управления u , под действием которого изменяется положение Y клапанов УПП, в результате чего происходит изменение объемного расхода пара (D), величина которого определяет вращающий момент (M) и скорость (ω_1) вращения вала турбины (Т). Турбина приводит во вращение нагрузку (Н),

которая создает момент сопротивления (M_n). ПП и ОП соответственно перегретый и отработанный пар.

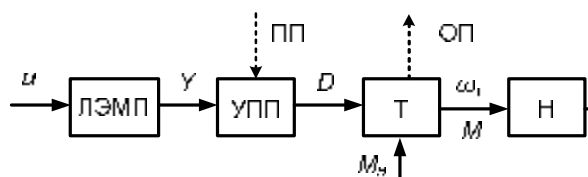


Рисунок 1 – Функциональная схема ОУ

На рис. 2 представлена схема паровых потоков в классической двухступенчатой турбине.

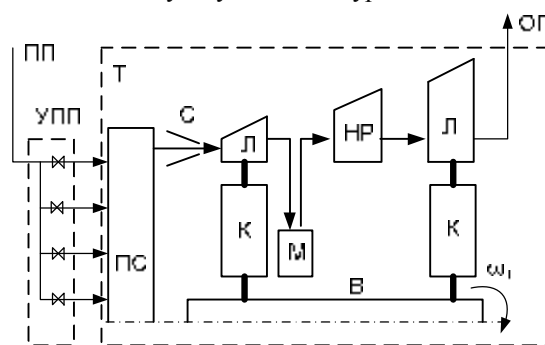


Рисунок 2 – Схема паровых потоков

Перегретый пар через УПП поступает в паросборник (ПС), откуда через сопла (С) первой ступени попадает на лопатки (Л) первого колеса (К), где происходит преобразование энергии перегретого пара в кинетическую энергию вращения вала (В). Отдав часть своей энергии, пар попадет в межлопаточное пространство (М), а оттуда через направ-

ляючі решетки (НР) на лопатки другого колеса, отдавая ему остаток энергии. В конденсационной турбине ОП имеет давление ниже атмосферного и несет в себе лишь тепловую энергию. При описании динамики конденсационных турбин обычно пренебрегают инерционностью межлопаточного пространства по сравнению с инерционностью ПС [4-9].

При построении математической модели паровой турбины с управлением подачей пара посредством линейного электромеханического преобразователя необходимо учитывать нелинейные зависимости усилия сопротивления клапанов УПП и их проходного сечения от положения штока ЛЭМП, которые приведены в статье [10].

Линейный электромеханический преобразователь представляет собой бесконтактный двигатель постоянного тока с преобразованием вращательного движения в поступательное посредством шариковой пары винт-гайка. Математическая модель такого преобразователя хорошо известна и представлена, например, в учебном пособии [11].

Процессы создания вращающего момента турбины могут быть описаны следующими уравнениями: для первого колеса:

$$\begin{cases} V_1 \frac{dP_1}{dt} = D_{in} - D_{out2}; \\ D_{out2} = \Delta S_{пр1} \sqrt{(P_1 - P_2)\rho}; \\ M_1 = R_{кл} \cdot F_{пара1}; \\ F_{пара1} = \frac{P_1 - P_2}{S_{л1}}; \end{cases} \quad (1)$$

для второго колеса:

$$\begin{cases} V_2 \frac{dP_2}{dt} = D_{out2} - D_{вых}; \\ D_{вых} = \Delta S_{пр2} \sqrt{(P_2 - P_3)\rho}; \\ M_2 = R_{кл} \cdot F_{пара2}; \\ F_{пара2} = \frac{P_2 - P_3}{S_{л2}}; \end{cases} \quad (2)$$

где V_1 – объем паросборника, V_2 – объем межлопаточного пространства, P_1 – давление пара перед колесом, P_2 – давление в межлопаточном пространстве, P_3 – давление пара на выходе из турбины, ρ – плотность пара, $\Delta S_{пр1}$, $\Delta S_{пр2}$ – площадь сечения, M_1 , M_2 – вращающий момент, сообщаемый колесу турбины, $S_{л1}$, $S_{л2}$ – площадь лопаток, D_{in} , D_{out} , $D_{вых}$ – расходы пара, $R_{кл}$ – средний радиус колес, $F_{пара1}$, $F_{пара2}$ – давление пара на лопатки [12].

Тогда суммарный момент, развиваемый паровой турбиной, определяется уравнением:

$$M = M_1 + M_2. \quad (3)$$

Структурная схема процесса преобразования расхода пара во вращающий момент турбины в соответствии с уравнениями (1)-(3) представлена на

рис. 3.

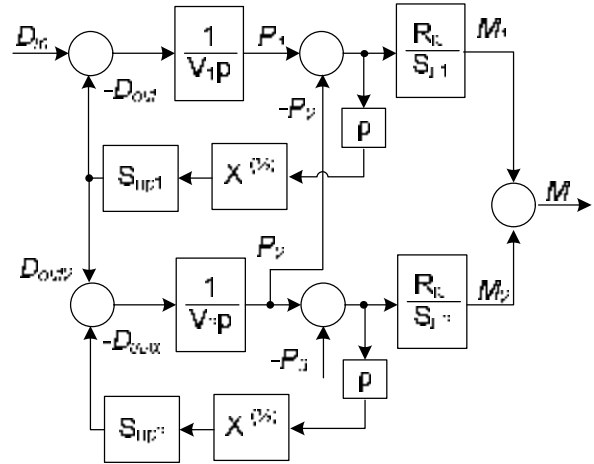


Рисунок 3 – Структурная схема преобразования расхода пара во вращающий момент турбины

Уравнение механического равновесия паровой турбины можно представить в виде:

$$J \frac{d\omega_T}{dt} = M - M_H, \quad (4)$$

где J – суммарный момент инерции турбины и нагрузки.

Момент, развиваемый турбиной, напрямую зависит от разности скоростей истечения пара из сопел или направляющей решетки и тангенциальной скорости перемещения лопаток колес. В связи с этим в турбине существует внутренняя отрицательная обратная связь по мощности турбины, которая определяется произведением скорости вращения на вращающий момент.

Коэффициент обратной связи K_{oc} может быть вычислен из условия равенства мощности на валу турбины N_B , определяемой вращающим моментом, $N_B = \omega_T \cdot M$ и мощности N_T , определяемой расходом пара $N_T = \eta_{оэ} \frac{D(i_0 - i_1) \cdot 1000}{860}$.

Тогда

$$D = K_{oc} \cdot M \cdot \omega_T,$$

где $K_{oc} = \left[\frac{0.86}{\eta_{оэ}(i_0 - i_1)} \right]$, $(i_0 - i_1)$ – теплоперепад в турбине при расширении пара, $\eta_{оэ}$ – относительный к.п.д., D – расход пара через турбину.

Обозначив структурную схему, приведенную на рис. 3 как $Wп$, математическую модель рассматриваемой паровой турбины можно представить в виде, изображенном на рис. 4. На этом рисунке выделены структурные схемы основных элементов пароэнергетического привода: линейно электромеханического преобразователя, осуществляющего управление клапанами, устройства подачи пара и соответственно турбины. В структурной схеме ЛЭМП приняты

следующие обозначения: $Tя$, $Tм$ – электромагнитная и электромеханическая постоянные времени двигателя, $cФ$ – конструктивный коэффициент двигателя, $K_{ред}$ – коэффициент передачи редуктора, M , $Mс$ – электромагнитный момент и момент сопротивления клапанов.

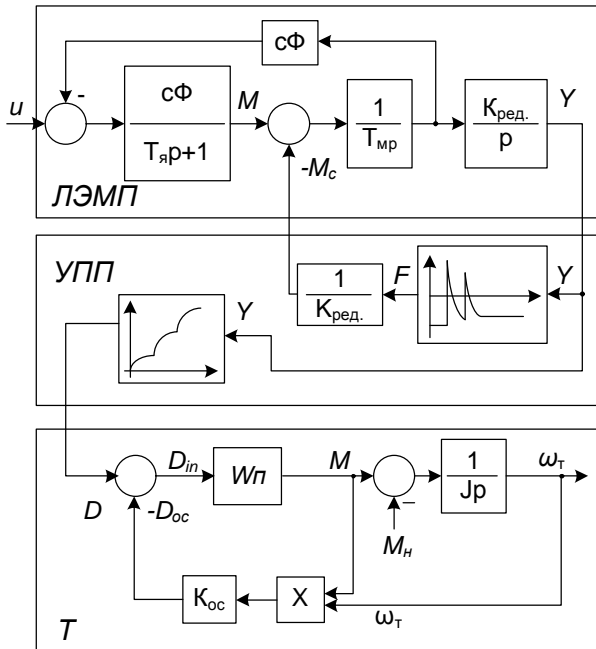


Рисунок 4 – Структурная схема паровой турбины

Выводы. Разработанная математическая модель конденсационной паровой турбины с управлением подачей пара посредством линейного электромеханического преобразователя позволяет учесть нелинейные зависимости усилия сопротивления клапанов УПП и их проходного сечения от положения штока ЛЭМП, нелинейную внутреннюю отрицательную обратную связь по мощности турбины и будет использована для синтеза высококачественной системы автоматического управления подачей холодного дутья для доменных процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трухний А.Д. Стационарные паровые турбины. – М.: Энергоатомиздат, 1990.– 640 с.

2. Щегляев А.В., Смелъницкий С.Г. Регулирование паровых турбин. – М.: Госэнергоиздат, 1962. – 256 с.

3. http://exlar.su/Applications/Process_Broch.pdf.

4. Костюк А.Г., Фролов В.В., Булкин А.Е., Трухний А.Д. Турбины тепловых и атомных и электрических станций: Учебник для вузов. – М.: Издательство МЭИ, 2001. –488 с.

5. Григорьев В.А., Зорин В.М. Тепловые и атомные электрические станции. – М.: Энергоиздат, 1982. – 624 с.

6. Бойко Е.А., Баженов К.В., Грачев П.А. Тепловые электрические станции (паротурбинные энергетические установки ТЕС): Справочное пособие. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. – 152 с.

7. Comparison of the results of full-scale experiment and long term dynamics simulation in the Siberian Interconnected Power System. Bulk Power System Dynamics and Control - VI, August 22-27, 2004, Cortina d'Ampezzo, Italy.

8. SYNERGETIC CONTROL FOR AUTONOMOUS TURBOGENERATOR Proceedings of the Power system 2002 conference: Impact of distributed generation, March 13-15, 2002. Ramada Inn, Clemson, SC.

9. Munitic, A., Milic, L. and Bupic, M. (1999), "System Dynamics Simulation Model of the Steam Turbine and Automatic Turbine Governor by PID regulator", Proceedings of the 11th European Simulation Symposium ESS '99, SCS-Europe, Erlangen-Nuremberg.

10. Моделирование системы управления сопловой подачи пара в турбину // VI Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених та спеціалістів. Тези доповідей. – Кременчук: КДПУ, 2008. – С. 230-231.

11. Гериан-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: Учебное пособие. – СПб.: КОРОНА принт, 2001. – 320 с.

12. Br.Roffel, V.Betlem Process Dynamics and Control. Modeling for Control and Prediction. John Wiley & Sons, Ltd 2006. Printed and bound in Great Britain by TJ International Ltd, Padstow, Cornwall – 562 p.

Стаття надійшла 20.04.2008 р.