

И. А. БАБЕНКО, И. В. СУК, А. В. СЕРДЮК, М. Л. КОЗЛОВА

ПРИНЦИПЫ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ТЭЦ

АННОТАЦИЯ В настоящей работе рассмотрены общие принципы и основные этапы создания энергосберегающих автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУ ТП) ТЭЦ. Сформулированы общие принципы создания автоматизированных систем управления и на их основе построены математические модели элементов ТЭЦ. Сформулированы общие принципы создания энергосберегающих систем автоматического управления (САУ) основными энергетическими установками ТЭЦ, выявлены определяющие параметры управляющего воздействия, выходные параметры, параметры внешних возмущающих воздействий и параметры энергетических потерь.

Ключевые слова: ТЭЦ, математические модели, АСУ, энергосбережение, энергетика.

I. A. BABENKO, I. V. SUK, A. V. SERDYUK, M. L. KOZLOVA

PRINCIPLES OF THE ENERGY-SAVING CONTROL OF HEAT POWER PLANTS

ABSTRACT The power engineering in Ukraine, in particular heat power engineering comes forth with many solutions that would allow us to improve operating conditions of power plants, namely update the equipment, improve the quality of control of operating conditions depending on power engineering market conditions and update control systems due to the implementation of new computing software systems into the available equipment. Due to the fact that a major portion of the equipment of operating heat power plants is overage and is unable to operate at maximum loadings the approaches to the principles of its control must be revised. This will allow us to reduce the expenditures required for the production of wanted power and optimize the operating conditions of power equipment used by power – generating units of heat power plants. This scientific paper formulates a very important scientific and engineering problem related to the development of the energy-saving control systems for heat power plants. A scientific principle of the energy-saving control of energy-generating units used by heat power plants was formulated, based on which energy-saving systems can be created for the automated control systems of heat power plants. To improve the control property it is proposed to use master models (state viewers) for the energy-saving automated control systems designed for the power-generating units of heat power plants.

Key words: heat power plant, mathematical models, automated control systems, energy-saving and the power engineering.

Введение

Необходимым критерием, определяющим степень комфорта жизни человека в современном мире, является электро- и теплоснабжение, как промышленного, так и жилого комплекса. В энергетике Украины, а именно в теплоэнергетике, существует ряд решений применяющихся для улучшения условий эксплуатации электрических станций, а именно модернизация оборудования, улучшение качества регулирования режимов работы в зависимости от условий рынка энергетики, усовершенствование систем управления, за счет внедрения новых программно-вычислительных комплексов и научных подходов к оптимальному управлению.

На Украине эксплуатируется около 40 теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) суммарной мощностью более 4500 МВт, что составляет порядка 11 % от всей установленной мощности энергетики Украины.

Основным заданием системы автоматического управления ТЭЦ является обеспечение необходимой выработки тепла и электроэнергии в каждый момент времени при минимуме энергетических потерь. При этом необходимо обеспечивать качество технологического процесса и иметь необходимую степень надежности, быстродействия

и безопасности как отдельных энергоустановок, так и энергоблоков ТЭЦ в целом.

Цель работы

В связи с тем, что большая часть оборудования действующих ТЭЦ отслужила заявленный гарантийный срок и не может работать при максимальных нагрузках, необходимо пересматривать и корректировать подходы к принципам его управления. Это позволит снизить затраты на выработку необходимого количества энергии, а также оптимизировать режимы работы энергооборудования и энергоблоков ТЭЦ.

Для условий ТЭЦ важным вопросом является комбинированная выработка тепла и электроэнергии, и общий расход топлива при такой выработке заметно ниже, чем при раздельном отпуске этих видов энергии. Исходя из факта большой доли ТЭЦ в энергобалансе Украины и распространенности этих станций, внедрение энергосберегающих систем управления ТЭЦ является важной и актуальной задачей.

Решение практической задачи энергосберегающего управления может позволить существенно повысить эффективность работы отдельных энергоустановок тепловых электростанций [4–6].

Изложение основного материала

Для осуществления эффективного энерго-сберегающего управления необходимо определить вектора входных и выходных параметров, составляющих материальный и энергетический баланс ТЭЦ. Структурная схема ТЭЦ состоит из таких элементов (рис. 1) как котёл, паровая турбина, конденсатор, тепловой потребитель, сетевой и питательный насосы, циркуляционный насос и др.

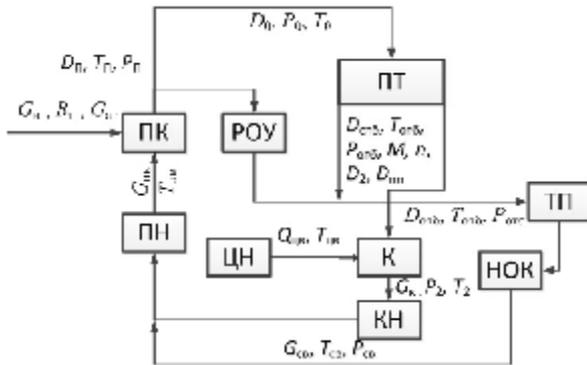


Рис. 1 – Структурная схема ТЭЦ:
 К – конденсатор; КН – конденсатный насос;
 НОК – насос обратного конденсата от тёплого потребителя; ПК – паровой котёл;
 ПН – питательный насос; ПТ – паровая турбина;
 РОУ – редукционная охлаждающая установка;
 ТП – тепловой потребитель; ЦН – циркуляционный насос; отб. – отбор; n – пар; цв – циркулярная вода; пв – питательная вода; св – сетевая вода; аг – активатор горения; в – воздух; т – топливо

Энергетические установки ТЭЦ, как объект управления, можно охарактеризовать следующим набором векторов [1]:

- векторов выходных (определяющих, контролируемых) параметров $\dot{X}_{\text{ВЫХ}}$;
 - вектор входных параметров $\dot{X}_{\text{ВХ}} = \dot{X}_{\text{ВХ}}^{\text{нерег}} + \dot{X}_{\text{ВХ}}^{\text{рег}}$,
- где $\dot{X}_{\text{ВХ}}^{\text{нерег}}$ – нерегулируемые входные параметры;
 $\dot{X}_{\text{ВХ}}^{\text{рег}}$ – регулируемые входные параметры;
- вектор внутренних параметров $\dot{X}_{\text{ВН}}$;
 - вектор внешних возмущающих воздействий \dot{X} ;
 - вектор параметров, которые определяют потери энергии (мощности) $\dot{X}_{\text{ПОТ}}$.

Между этими параметрами устанавливаются аналитические зависимости в виде математических моделей:

– исходная модель:

$$F(\dot{X}_{\text{ВХ}}^{\text{рег}}; \dot{X}_{\text{ВХ}}^{\text{нерег}}; \dot{X}_{\text{ВН}}; \dot{X}_{\text{ПОТ}}; \dot{X}_{\text{ВЫХ}}; \dot{X}) = 0;$$

– модель управления (по векторам выходных параметров):

$$\dot{X}_{\text{ВЫХ}} = f_{\text{ВЫХ}}(\dot{X}_{\text{ВХ}}^{\text{рег}}; \dot{X}_{\text{ВХ}}^{\text{нерег}}; \dot{X}_{\text{ВН}}; \dot{X}_{\text{ПОТ}}; \dot{X});$$

– модель общих энергетических потерь:

$$\dot{X}_{\text{ПОТ}} = f_{\text{ПОТ}}(\dot{X}_{\text{ВХ}}^{\text{рег}}; \dot{X}_{\text{ВХ}}^{\text{нерег}}; \dot{X}_{\text{ВН}}; \dot{X});$$

– модель управляющего воздействия:

$$\dot{X}_{\text{ВХ}}^{\text{рег}} = f_{\text{УПР}}(\dot{X}_{\text{ВХ}}^{\text{нерег}}; \dot{X}_{\text{ВН}}; \dot{X}_{\text{ПОТ}}; \dot{X}).$$

Минимизируется функция энергетических потерь

$$F = \min\{\dot{X}_{\text{ПОТ}}\}$$

используя в качестве аргумента вектор регулируемых входных параметров

$$\dot{X}_{\text{ПОТ}} = f_{\text{ПОТ}}(\dot{X}_{\text{ВХ}}^{\text{рег}}),$$

при условии, что заданы значения вектора выходных параметров

$$\dot{X}_{\text{ВЫХ}} = \dot{X}_{\text{ВЫХ}}^{\text{зад}}$$

и заданы ограничения на остальные параметры:

$$\dot{X}_{\text{ВН}} = [\dot{X}_{\text{ВН}}^{\text{r}}]; \dot{X}_{\text{ВХ}}^{\text{нерег}} = [\dot{X}_{\text{ВХ}}^{\text{нерег}}].$$

Применение этого подхода управления возможно путем разработки математических моделей основных энергообъектов и моделей функций энергетических потерь с последующей их минимизацией. Рассмотрим основные энергетические установки ТЭЦ: паровой котел, паровая турбина, тепловой потребитель.

Входными параметрами парового котла являются расход питательной воды $G_{\text{ПВ}}$, температура питательной воды $T_{\text{ПВ}}$, расход подаваемого в топку воздуха $G_{\text{В}}$, расход топлива $B_{\text{Т}}$, а выходящими – параметры острого пара $D_{\text{П}}$, $P_{\text{П}}$ и $T_{\text{П}}$ и параметры промперегрева $D_{\text{ПП}}$. Исходная математическая модель парового котла будет иметь следующий вид:

$$F(D_{\text{ПВ}}; T_{\text{ПВ}}; G_{\text{В}}; B_{\text{Т}}; D_{\text{П}}; T_{\text{П}}; P_{\text{ПП}}; D_{\text{П}}; P_{\text{П}}; T_{\text{П}}; x; DN) = 0.$$

Входящими параметрами турбины являются параметры пара T_0 , P_0 , D_0 , а выходящие расход $D_{\text{отб}}$, давление $P_{\text{отб}}$ и температура $T_{\text{отб}}$ на отборы, крутящий момент M , частота вращения n , расход пара в конденсатор D_2 , и параметры промперегрева $D_{\text{ПП}}$. Математическая модель турбины будет выглядеть следующим образом:

$$F(T_0; P_0; D_0; D_{\text{отб}}; T_{\text{отб}}; P_{\text{отб}}; M; n; D_2; D_{\text{ПП}}; x; DN) = 0.$$

Тепловой потребитель имеет входные параметры $D_{\text{отб}}$, $T_{\text{отб}}$, $P_{\text{отб}}$ (описаны выше), а выходящие – расход сетевой воды $G_{\text{СВ}}$, её температура $T_{\text{СВ}}$ и давление $P_{\text{СВ}}$. Математическая модель теплового потребителя в этом случае будет иметь вид:

$$F(D_{\text{отб}}; T_{\text{отб}}; P_{\text{отб}}; G_{\text{СВ}}; T_{\text{СВ}}; P_{\text{СВ}}; x; DN) = 0.$$

Потери в котельных агрегатах представляют собой потери с уходящими газами q_2 , потери с химическим недожогом q_3 , потери с механическим недожогом q_4 , потери тепла через ограждение топки q_5 и потери тепла с уходящим шлаком q_6 , гидравлические потери DE_T и аэродинамические потери $DE_{ад}$.

Основными технологическими ограничениями являются: ограничения на вырабатываемую электрическую и тепловую мощность, давление и температуру острого пара, давление и температуру сетевой воды.

Решением задачи энергосберегающего управления является обеспечение заданных значений выходных параметров энергоблока ТЭЦ с учетом технологических ограничений и внешних возмущений при обеспечении минимума потерь.

Обсуждение результатов

На основании вышеизложенных принципов возможно создание энергосберегающей АСУ ТЭЦ. Целесообразно использовать эталонную модель (наблюдателя состояния), схема которой показана на рис. 2.



Рис. 2 – Функциональная схема эталонной модели

Выводы

1 Сформулирована важная научно-техническая задача энергосберегающего управления энергетическими установками ТЭЦ.

2 Сформулированы общие принципы построения энергосберегающих систем управления энергетическими установками ТЭЦ.

Список литературы

- 1 **Канюк, Г. И.** Общие принципы энергосберегающего управления технологическими объектами [Текст] / **Г. И. Канюк** // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – Т. 4, № 3(46). – С. 42–44. – ISSN 1729-3774.
- 2 **Плетнев, Г. П.** Автоматизированное управление объектами тепловых электростанций [Текст] / **Г. П. Плетнев**. – М.: Энергоиздат, 1981. – С. 225–227.
- 3 **Украинский промышленный портал.** Топливо-энергетический комплекс Украины. – Опубликовано 07.02.2011 – Режим доступа: <http://urp-search.com.ua/46-tek-ukraini.html>. – Заглавие с экрана. – 10.12.2015.
- 4 **Канюк, Г. И.** Энергосберегающее управление и повышение технико-экономической эффективности насосных установок тепловых и атомных электростанций [Текст] / **Г. И. Канюк, А. Ю. Мезеря,**

- 5 **А. Р. Фокина, Е. В. Лаптинова, И. П. Лаптинов** // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2012. – № 3/8(57). – С. 58–62. – ISSN 1729-3774.
- 6 **Канюк, Г. И.** Определение оптимального расхода циркуляционной воды в конденсаторах тепловых и атомных электростанций [Текст] / **Г. И. Канюк, А. Ю. Мезеря, А. Р. Фокина, И. А. Бабенко** // Энергосбережение, Энергетика, Энергоаудит. – 2015. – №6(137). – С. 12–19. – ISSN 2218-1849.
- 7 **Канюк, Г. И.** Модель энергосберегающего управления нагнетательными установками тепловых электростанций [Текст] / **Г. И. Канюк, А. Ю. Мезеря, И. П. Лаптинов** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків: НТУ «ХПІ», 2014. – № 12(1055). – С. 90–97. – Бібліогр.: 3 назв. – ISSN 2078-774X.

Bibliography (transliterated)

- 1 **Kanyuk, G. I.** (2010), ²Obshchiye printsipy energosberegayushchego upravleniya tekhnologicheskimi obyektami [General principles of energy-saving control of technological objects]², *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 4, no. 3(46), pp. 42–44, ISSN 1729-3774.
- 2 **Pletnev, G. P.** (1981), *Avtomatizirovanoye upravleniye ob"yektami teplovykh elektrostantsiy* [Automated management of objects of thermal power plants], Energoizdat, Moscow, Russia.

- 3 Ukrainiskij promyshlennyj portal [Ukrainian industrial portal] (2011), ²Toplivno-energeticheskij kompleks Ukrainy [Fuel and energy complex of Ukraine]², available at: <http://upr-search.com.ua/46-tek-ukraini.html> (Accessed 10 December 2015).
- 4 **Kanyuk, G. I., Mezerya, A. Y., Fokina, A. R., Laptinova, E. V. and Laptinov I. P.** (2012), ²Energoberegayushcheye upravleniye i povysheniye tekhniko-ekonomicheskoy effektivnosti nasosnykh ustanovok teplovykh i atomnykh elektrostantsiy [Energy-efficient management and improvement of technical and economic efficiency of pumping units of thermal and nuclear power plants]², *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, no. 3/8(57), pp. 58–62, ISSN 1729-3774.
- 5 **Kanyuk, G. I., Mezerya, A. Y., Fokina, A. R. and Babenko, I. A.** (2015), ²Opredeleeniye optimal'nogo rashkoda tsirkulyatsionnoy vody v kondensatorakh teplovykh i atomnykh elektrostantsiy [Determination of the optimal flow rate of circulating water in the condensers of thermal and nuclear power plants [Text]], *Energoberezheniye, Energetika, Energoaudit* [Energy savings, Energy, Efficiency and conservation], no. 6(137), pp. 12–19, ISSN 2218-1849.
- 6 **Kanyuk G. I., Mezerya, A. Yu. and Laptinov, I. P.** (2014), ²Model' energoberegayushchego upravleniya nagnetatel'nymi ustanovkami teplovykh elektrostantsiy [A Model of Energy Saving Control Using the Discharge Units of Thermal Power Stations]², *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment*, no. 12(1055), pp. 90–97, ISSN 2078-774X.

Сведения об авторах (About authors)

Бабенко Игорь Анатольевич – директор Змиевской тепловой электрической станции публичного акционерного общества «Центрэнерго», 63460, Харьковская обл., Змиевской р-н, пгт. Комсомольское, Балаклейское шоссе, 2, Украина; e-mail: director@zmes.kh.energy.gov.ua.

Babenko Igor – Director Zmiyiv Thermal Power Stations of JSC "Centrenerg", 63460, Kharkov region. Zmiyivskiy district, town. Komsomolsk, Balakliysky highway, 2, Ukraine.

Сук Ирина Валентиновна – аспирант кафедры теплоэнергетики и энергосберегающих технологий, Украинская инженерно-педагогическая академия, г. Харьков, Украина; e-mail: okeanpr@ukr.net.

Suk Irina – graduate student, Department of Heat-and-Power Engineering and Energy Saving Technologies, Ukrainian Engineering and Pedagogics Academy, Kharkov, Ukraine.

Сердюк Александр Викторович – аспирант кафедры теплоэнергетики и энергосберегающих технологий, Украинская инженерно-педагогическая академия, г. Харьков, Украина; e-mail: allserr@gmail.com.

Serdyuk Aleksandr – graduate student, Department of Heat-and-Power Engineering and Energy Saving Technologies, Ukrainian Engineering and Pedagogics Academy, Kharkov, Ukraine.

Козлова Марина Леонидовна – аспирант кафедры теплоэнергетики и энергосберегающих технологий, Украинская инженерно-педагогическая академия, г. Харьков, Украина; e-mail: okeanpr@ukr.net.

Kozlova Marina – graduate student, Department of Heat-and-Power Engineering and Energy Saving Technologies, Ukrainian Engineering and Pedagogics Academy, Kharkov, Ukraine.

Пожадуїста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Бабенко, И. А. Принципы энергосберегающего управления ТЭЦ [Текст] / **И. А. Бабенко, И. В. Сук, А. В. Сердюк, М. Л. Козлова** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 9(1181). – С. 147–150. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2016.09.22.

Please cite this article as:

Babenko, I., Suk, I., Serdyuk, A. and Kozlova, M. (2016), ²Principles of the Energy-Saving Control of Heat Power Plants², *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment*, no. 9(1181), pp. 147–150, ISSN 2078-774X, doi: 10.20998/2078-774X.2016.09.22.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Бабенко, И. А. Принципы энергозберігаючого управління ТЭЦ [Текст] / **И. А. Бабенко, И. В. Сук, О. В. Сердюк, М. Л. Козлова** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 9(1181). – С. 147–150. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2016.09.22.

АНОТАЦІЯ У даній роботі розглянуті загальні принципи і основні етапи створення енергозберігаючих автоматизованих систем управління технологічним процесом (АСУ ТП) ТЭЦ. Сформульовано загальні принципи створення автоматизованих систем управління і на їх основі побудовані математичні моделі елементів ТЭЦ. Сформульовано загальні принципи створення енергозберігаючих систем автоматичного управління (САУ) основними енергетичними установками ТЭЦ, виявлені визначальні параметри керуючого впливу, вихідні параметри, параметри зовнішніх впливів, що обурюють і параметри енергетичних втрат.

Ключові слова: ТЭЦ, математичні моделі, АСУ, енергозбереження, енергетика.

Поступила (received) 08.01.2016