

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛЬНОГО ПРОГНОЗИРУЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ЭНЕРГБЛОКА ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

А.А. Лебедев

MODEL PREDICTIVE CONTROL OF THE THERMAL POWER PLANT GENERATING UNIT OUTPUT

A.A. Lebedev

В данной статье описана процедура синтеза алгоритма модельного прогнозирующего управления для регулирования активной мощности энергоблока тепловой электростанции, позволяющего повысить качество регулирования по сравнению с классическим линейным управлением.

Ключевые слова: тепловая электростанция, энергоблок, модельное прогнозирующее управление.

This paper reports the development of model predictive control for improved control of a thermal power plant generating unit output. As the results of modeling demonstrate, this control strategy provides more efficient control than the standard linear one.

Keywords: thermal power plant, power generating unit, model predictive control

Введение

Традиционные алгоритмы управления в электроэнергетических системах сложились более полувека назад и предполагают проектирование системы управления в виде отдельных линейных подсистем, использующих классические линейные регуляторы. Однако линейные регуляторы не позволяют учитывать ряд важных нелинейностей объекта управления: ограничение амплитуды и скорости ее нарастания для исполнительных механизмов, ограничения на некоторые параметры (например, уровень воды в барабане котла). Кроме того, энергоблок является сложной и многосвязной системой, поэтому согласованная настройка всех регуляторов требует больших временных затрат. Также очевидно, что такой подход не гарантирует получения оптимального и экономичного управления [1].

В отличие от классического линейного управления, модельное прогнозирующее управление (МПУ) позволяет учитывать характерные для энергоблоков нелинейности, а также обеспечить возможность оптимизации процесса. Данные особенности алгоритмов МПУ позволяют значительно повысить эффективность работы системы управления.

В данной работе представлена процедура синтеза алгоритма МПУ для регулирования активной мощности энергоблока тепловой электростанции,

учитывающего ограничения исполнительных механизмов и позволяющего повысить качество регулирования мощности по сравнению с классическим линейным управлением.

1. Математическая модель энергоблока

Нелинейная модель энергоблока была получена из векторных уравнений баланса массы, энергии и импульсов для элементов парового котла, представленных в виде рекуперативных теплообменников, а также из уравнений материального баланса отсеков паровой турбины и уравнения ее вращательного движения [1, 2]. Линейная модель энергоблока получена из нелинейной с помощью процедуры линеаризации «в малом» относительно номинального режима работы энергоблока и с учетом допущений, принятых в [3]. Входами модели являются входные сигналы, подаваемые на исполнительные механизмы, управляющие перемещением клапана турбины, расходом питательной воды и расходом топлива ($u_{кл}$, $u_{п.в.}$ и $u_{т}$ соответственно). Выходы - активная мощность N , температура пара в промежуточной точке тракта $t_{пр}$ и температура факела в топке $t_{ф}$. Записанная в пространстве состояний, модель имеет вид

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}}(t) &= \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t), \\ \mathbf{y}(t) &= \mathbf{C}\mathbf{x}(t), \end{aligned} \quad (1)$$

где $\mathbf{u}(t) = [u_{кл} \ u_{п.в.} \ u_{т}]^T$, $\mathbf{y}(t) = [t_{пр} \ t_{ф} \ N]^T$, $\mathbf{x}(t) \in \mathbf{R}^{30}$.

2. Синтез алгоритма модельного прогнозирующего управления

Типовая структурная схема системы управления энергоблоком представлена на рис. 1 [2]. Введены следующие обозначения (см. рис. 1): ТРМ - турбинный регулятор мощности, КРМ - котельный регулятор мощности, РТ - регулятор температуры, ИМК - исполнительный механизм клапана турбины, ИМПВ - исполнительный механизм подачи питательной воды, ИМТ - исполнительный механизм подачи топлива, Д - дифференциатор, N_3 - задание по мощности, t_3 - задание по температуре, $D_{п.в.}$ - расход питательной воды, D_T - расход топлива, $h_{кл.}$ - относительное перемещение клапана турбин, p_k - давление пара на выходе котла, D_k - расход пара на выходе котла, $u_{кл.}$, $u_{п.в.}$ и u_T - соответственно управляющие воздействия действующие на исполнительные механизмы клапана турбины, клапана подачи питательной воды и подачи топлива.

Модельное прогнозирующее управление - алгоритм управления, основанный на решении задачи оптимального управления в реальном масштабе времени и состоящий из следующих шагов.

1. В момент времени k для текущего вектора состояния $x(k)$ решить в реальном времени для разомкнутого контура задачу оптимального управления для некоторого будущего интервала (горизонт предсказания n), учитывая ограничения.

2. Применить первый шаг последовательности оптимального управления.

3. Повторить процедуру для момента $k+1$, используя текущее состояние $x(k+1)$.

Наиболее приемлемым вариантом применения алгоритма МПУ в задаче регулирования активной мощности энергоблока является замена одного или нескольких линейных регуляторов системы управления на регуляторы с МПУ. Такой подход позволяет сохранить существующую структуру системы управления, оставляя возможность непосредственного регулирования других парамет-

ров энергоблока (давление пара на выходе котла, температура в промежуточной точке тракта и др.).

Основным управляющим воздействием при регулировании активной мощности энергоблока является перемещение регулирующего клапана турбины $h_{кл.}$ [2]. Формирование сигналов, управляющих исполнительным механизмом клапана турбины, осуществляется ТРМ. Поэтому использование алгоритма МПУ в ТРМ представляется наиболее эффективным.

Таким образом, в качестве объекта управления для регулятора с МПУ выступает канал $u_{кл.}$ - N. Выделяя вышеуказанный канал из модели (1) и переходя к дискретной форме с шагом 0,1 с, получим

$$\begin{aligned} x(k+1) &= A_1x(k) + B_1u(k), \\ y(k) &= C_1x(k), \end{aligned} \tag{1}$$

где $u = u_{кл.}$, $y = N$, $x \in R^{14}$.

Задача МПУ формулируется как задача ограниченного квадратичного программирования, учитывающая нелинейность исполнительного механизма:

$$\begin{aligned} J(U, \Delta U, E) &= \Delta U^T Q_{\Delta U} \Delta U + E^T Q_E E \rightarrow \min, \\ x(k) - Ax(k-1) - Bu(k-1) &= 0, \\ y(k) - Cx(k) &= 0, \\ 0 \leq u(k) &\leq 1, \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} U &= [u(k+1), \dots, u(k+n)], \\ \Delta U &= [u(k+1) - u(k), \dots, u(k+n) - u(k+n-1)], \\ E &= [y(k+1) - y_3(k+1), \dots, y(k+n) - y_3(k+n)], \\ Q_{\Delta U} &= \text{diag}(0, 1 \dots 0, 1), \quad Q_E = \text{diag}(1 \dots 1). \end{aligned}$$

Здесь $y_3(k)$ - заданное значение (уставка).

3. Результаты моделирования

Для моделирования использовался пакет программ MATLAB 2006a / SIMULINK. На рис. 2 представлены результаты моделирования при уве-

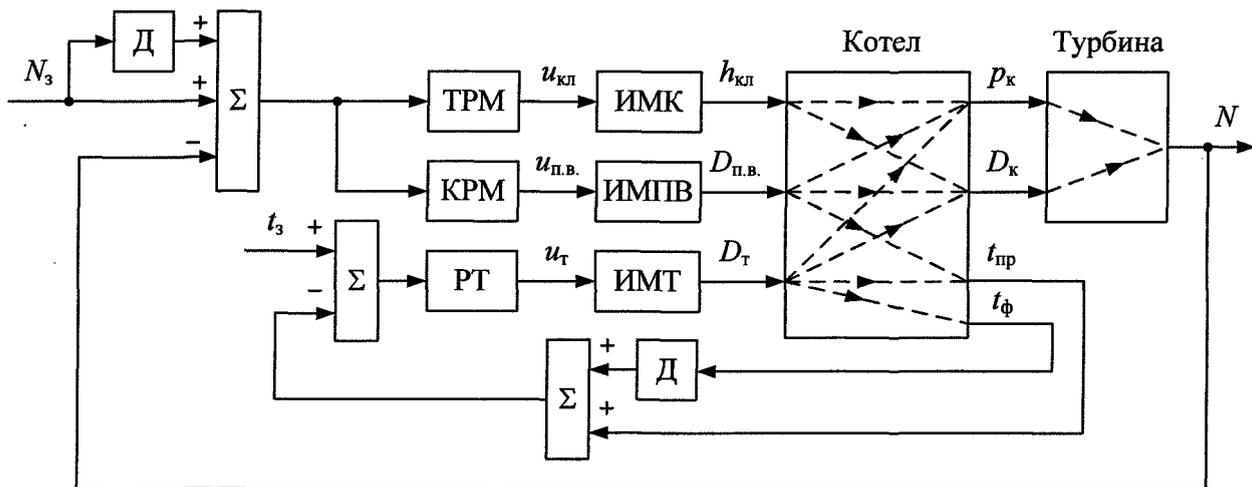


Рис. 1. Структурная схема системы управления мощностью энергоблока

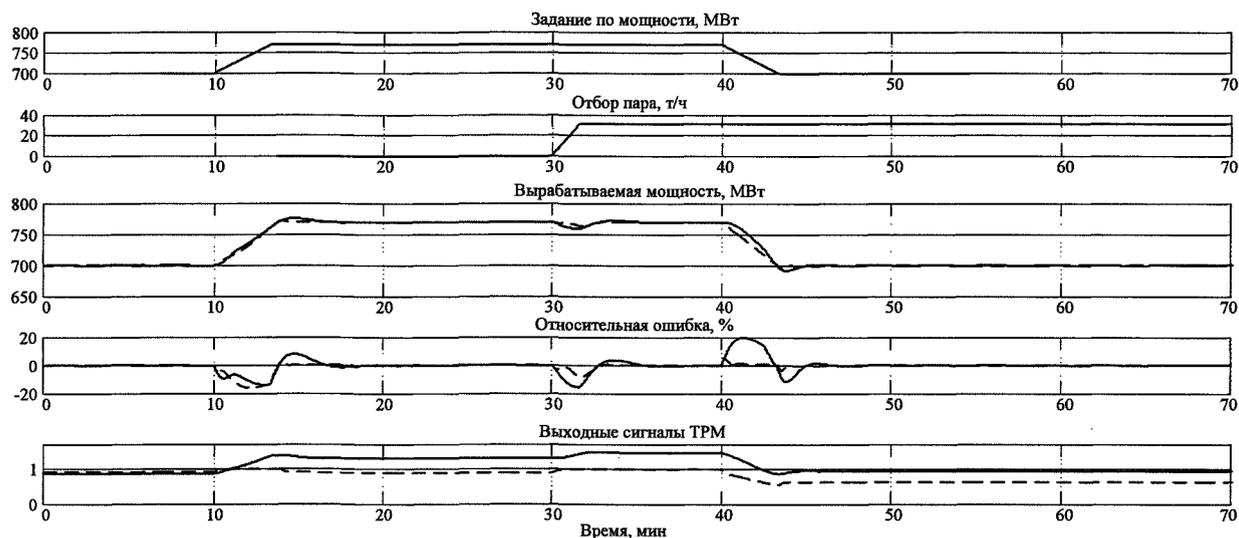


Рис. 2. Результаты моделирования

личении задания по мощности на 10 %. При этом на 30-й минуте на систему начинает действовать внешнее возмущение - включается отбор пара на собственные нужды. На трех последних графиках сплошная линия соответствует системе с ПИД-регуляторами, настроенными на технический оптимум, пунктирная линия соответствует МПУ.

Используемые модели исполнительных механизмов содержат естественные ограничения по амплитуде, поэтому при подаче входного сигнала выход исполнительного механизма попадает в зону насыщения, что приводит к ухудшению качества регулирования. В отличие от классического управления, алгоритм МПУ учитывает данное ограничение, что позволяет обеспечить работу механизма в зоне линейности. Также наблюдается увеличение быстродействия и повышение качества регулирования.

Заключение

В рамках проведенных исследований рассмотрена возможность применения алгоритмов модель-

ного прогнозирующего управления. Экспериментальные результаты показывают увеличение быстродействия и улучшение качества регулирования мощности при модельном прогнозирующем управлении по сравнению с классическим управлением. При этом более высокое качество регулирования достигается при меньшей интенсивности управляющих воздействий.

Литература

1. Синергетические методы управления сложными системами: Энергетические системы / под ред. А. А. Колесникова. - М.: КомКнига, 2006. - 248 с.
2. Плетнев Г.П. Автоматизированное управление объектами тепловых электростанций: учеб. пособие для вузов. / Г.П. Плетнев. - М.: Энергоиздат, 1981.-367 с.
3. Чертков Н.К. Система моделирования энергетических установок / Н.К. Чертков, Г.Б. Барменков, Б. Б. Мешков // Теплоэнергетика. - 2006. - №5.-С. 62-65.

Поступила в редакцию 14 мая 2009 г.