

УДК 69.059.25

Н.Д.АНДРИЙЧУК, канд. техн. наук

*Восточноукраинский национальный университет им.Владимира Даля, г.Луганск*

## **ОБ УЧЕТЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОДСИСТЕМ ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТАНОВОК**

Рассматривается концепция динамической декомпозиции теплогенерирующих установок, предложен обобщенный показатель и показана методика его использования для упрощения математической модели системы регулирования температуры теплоносителя.

Математические модели процессов, протекающих в теплогенерирующих установках (ТГУ), представляют собой достаточно сложную систему нелинейных дифференциальных уравнений [1], включающую математическую модель объекта регулирования (чаще всего систему нелинейных дифференциальных уравнений или уравнений в частных производных); математическую модель регулятора, включающего датчик регулируемой величины, преобразователь, собственно регулятор; модели исполнительного механизма и регулирующего органа, линий связи.

Исследование динамики процессов регулирования, оптимизацию настроек параметров регулятора целесообразно проводить на упрощенной модели, если такая возможность имеется. При оценке возможности упрощения математической модели во внимание должны приниматься погрешности идентификации параметров передаточных функций, входного сигнала, частотных характеристик и т.д. Упрощение математических моделей отдельных звеньев можно выполнить с помощью методов теории чувствительности [2].

Динамические свойства элементов теплогенерирующей установки (постоянные времени, времена транспортного запаздывания, частотные характеристики и т.п.) могут существенно отличаться. В связи с этим появляется возможность декомпозиции ТГУ на отдельные подсистемы, каждая из которых объединяет элементы, близкие по динамическим свойствам.

Динамическая декомпозиция основывается на концепции так называемого модельного подхода. Если  $\Delta u = \Delta u(t)$  и динамические характеристики двух подсистем теплогенерирующей установки существенно различны, то переходные процессы в них можно подразделить на быстрые и длительные. Очевидно, что в этом случае достижение нового стационарного состояния всей системой определяется длитель-

ным переходным процессом. В связи с этим при рассмотрении нестационарного поведения всей системы можно пренебречь динамикой быстрого процесса.

Для решения задачи динамической декомпозиции ТГУ в общем случае требуется исследовать некоторый набор динамических свойств каждого из входящих в ее состав элементов. Эта задача может оказаться весьма сложной и трудоемкой. Для ее упрощения используется показатель  $C_{II}$ , имеющий вид [3]

$$C_{II} = \frac{\sum_{p=1}^{p_i} T_{ip} a_p}{\sum_{p=1}^{p_j} T_{jp} a_p},$$

где  $T_{ip}$  и  $T_{jp}$  - динамический показатель  $i$ -й и  $j$ -й подсистем;  $a_p = +1$ , если  $p$ -й показатель характеризует постоянную времени запаздывания или длительность запаздывания;  $a_p = -1$ , если  $p$ -й показатель характеризует постоянную времени предварения.

Обобщенный показатель позволяет осуществить декомпозицию линейных аperiodических подсистем. При этом можно пользоваться следующим сопоставлением динамических свойств двух подсистем по показателю  $C_{II}$  [3] (см. табл.1).

Таблица 1

Значение показателя	Влияние подсистемы
$C_{II} \gg 1$	Подсистема оказывает небольшое влияние на динамику системы. Динамическая декомпозиция возможна
$C_{II} \ll 1$	Подсистема оказывает небольшое влияние на динамику системы. Динамическая декомпозиция возможна
$C_{II} \approx 1$	Обе подсистемы оказывают примерно одинаковое влияние на динамику системы. Динамическая декомпозиция этих систем невозможна

При определении индексов суммирования  $p_i$  и  $p_j$  следует исходить из того, что динамическое поведение элемента ТГУ характеризуется не более чем четырьмя величинами: постоянными времени пер-

вого и второго порядка; временем запаздывания и постоянной времени предварения. Если известны значения этих величин, то показатель  $C_{II}$  позволяет решить вопрос о возможности динамической декомпозиции. Приведенное выше сопоставление позволяет оценить влияние динамических свойств отдельных подсистем по показателю  $C_{II}$ . Практически можно считать, что для динамической декомпозиции двух подсистем достаточно, чтобы выполнялось условие:  $C_{II} > 20$  или  $C_{II} < 0,05$ .

Хотя показатель  $C_{II}$  и позволяет сравнить динамическое поведение подсистем, тем не менее, он не дает информации о соотношении между динамическими свойствами рассматриваемой подсистемы и динамическими свойствами вектора входной величины  $U(t)$  этой подсистемы. Очевидно, что значительные изменения выходной величины  $y(t)$  при имеющихся изменениях  $U(t)$  возникают только в том случае, если собственная частота  $j$ -й подсистемы находится в определенном отношении к верхней предельной частоте  $\omega_k$  входной величины. Если принять отношение  $C_{II} = \omega_k / \omega_j$  как показатель, то ситуации, возникающие при оценке фильтрующих свойств подсистемы ТГУ с помощью показателя  $C_{II}$ , будут соответствовать табл. 2.

Таблица 2

Значение показателя	Влияние подсистемы
$C_{II} \gg 1$	Сильное фильтрующее действие подсистемы
$C_{II} \ll 1$	Отсутствие фильтрующего действия подсистемы
$C_{II} \approx 1$	Переходная область: заметное фильтрующее действие подсистемы

Для инженерных расчетов можно положить, что для динамики важна область отношения частот от двух до трех декад. Поэтому выполнение неравенства  $C_{II} > 20 \dots 30$  можно считать достаточным условием для квазистационарного моделирования  $j$ -й подсистемы по отношению к входной величине.

Предложенные показатели были использованы для упрощения математической модели динамических характеристик (структурной схемы) системы регулирования температуры теплоносителя ТГУ (рис.1).

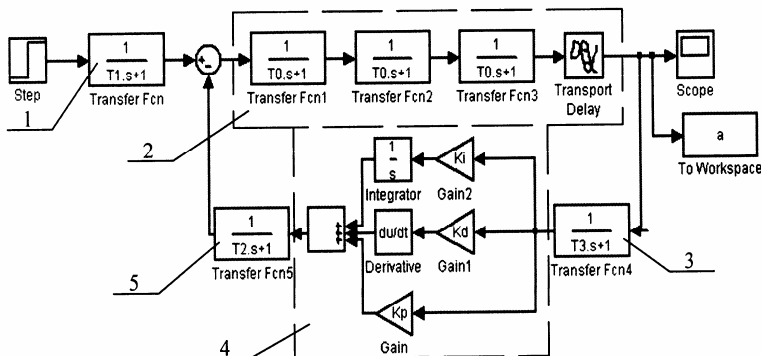
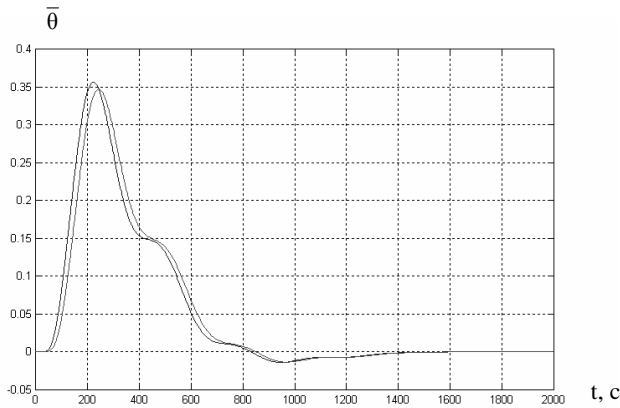


Рис. 1. Структурная схема системы регулирования температуры:  
 1 - входное воздействие; 2 – объект регулирования; 3 – датчик температуры;  
 4 – регулятор; 5 – исполнительный механизм и регулирующий орган.

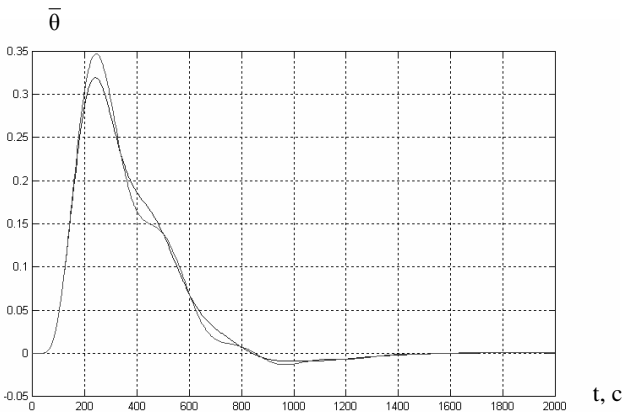
Выполнялась динамическая декомпозиция с использованием параметра  $C_{II}$  и исследование влияния ряда звеньев на ошибку аппроксимации (рис.2).

Проведенные исследования показали, что при анализе динамики, определении оптимальных настроек регулятора системы [1] структурная схема может быть упрощена без внесения существенной погрешности в конечный результат. Влиянием звеньев 3 и 5 (рис.1) при этом можно пренебречь.

Кроме того, более детальное исследование позволило сделать некоторые общие выводы: влияние цепочки последовательно соединенных звеньев (рис.1) можно оценить суммированием постоянных времени этих звеньев; возмущения в системах с обратной связью затухают значительно медленнее, чем в разомкнутых системах; для систем, содержащих нелинейные звенья также целесообразно применять принцип динамической декомпозиции, при этом нелинейную часть системы необходимо разделить на нелинейные статические и динамические звенья, а затем применить принцип декомпозиции для линейной части.



*a*



*б*

Рис. 2. Результаты динамической декомпозиции:  
*a* – влияние звена 3,  $C_{II} = 0,04$ ; *б* – влияние звена 5,  $C_{II} = 0,03$

1. Андрийчук Н.Д., Баранич Ю.В., Подлесная С.В., Адамчо Я.В. Нечеткая логика в системах регулирования теплогенерирующих установок. – Луганск: ВНУ им. В.Даля, 2004. – 68 с.

2. Розенвассер Е.Н., Юсупов Р.М. Чувствительность систем автоматического управления. – М.: Наука, 1981. – 46 с.

3. Химико-технологические системы. Синтез, оптимизация и управление / Под ред. И.П. Мухленова. – Л.: Химия, 1986. – 424 с.

Получено 02.02.2004

УДК 621.187.14

Э.Г.БРАТУТА, д-р техн. наук, А.Н.ГАНЖА, канд. техн. наук, Е.П.СЛЕСАР  
*Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»*

### **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПАРОВОДЯНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ РЕГЕНЕРАТИВНОЙ СХЕМЫ ТУРБОБЛОКА МОЩНОСТЬЮ 300 МВт**

На основе предложенной ранее математической модели анализируется работа системы регенерации низкого давления турбоблока мощностью 300 МВт на гарантийных режимах. Описываемый программный комплекс может быть использован для исследования режимов как действующих, так и вновь проектируемых или модернизированных подогревателей регенеративных схем мощных паротурбинных энергоблоков.

В настоящее время уделяют большое внимание вопросам уменьшения энергопотребления и энергосберегающим технологиям. В сбережении энергетических ресурсов большое значение имеет также и снижение себестоимости производства самой электрической энергии, т.е. повышение эффективности установок, которые её вырабатывают. Основная часть электрической энергии, как в Украине, так и за рубежом, генерируется на тепловых (ТЭС) и атомных (АЭС) электрических станциях. В качестве генерирующей электрическую энергию агрегата здесь используются энергоблоки с мощными паротурбинными установками (ПТУ), где используется общеизвестный цикл Ренкина.

Как показывает наука и практика, эффективность цикла Ренкина, т.е. его КПД, существенно возрастает, если в нем применять регенеративный подогрев питательной воды, поступающей в парогенератор. Основной вклад в регенерацию на ПТУ вносит подогрев питательной воды и основного конденсата паром из отборов турбины. Следует отметить, что с применением такой регенерации полезно используется тепло, которая сбрасывается в конденсаторе. При этом еще и снижается загрязнение окружающей среды.

Регенеративный подогрев осуществляется в основном системой поверхностных кожухо-трубчатых пароводяных теплообменников – подогревателей низкого (ПНД) и высокого (ПВД) давлений. В основной своей части ПНД и ПВД отечественных паротурбинных энергоблоков не проектировались и не изготавливались в Украине, а их общее количество и металлоемкость весьма значительны. Вес некоторых подогревателей может составлять до 100÷150 т, диаметр до 3,5 м, высота до 10 м и более [1–3]. Кроме того, стоимость этих аппаратов на ТЭС может составлять до 15 % стоимости турбины, а на АЭС – сопоставима со стоимостью турбины. Отечественные поверхностные ПНД изготавливаются камерного типа с U- или П-образными трубами из латуни, медно-никелевых сплавов или нержавеющей стали, а ПВД –