



the NPP maintains an overestimated level of water at workloads, which leads to an increase in the moisture content of steam and increased wear of the turbine blade apparatus. This reduces the reliability and service life of the turbine.

At the same time, the replacement of old technical means of the ACS of heat and power processes with modern microprocessors using standard control algorithms and traditional structural schemes does not significantly improve the quality of maintaining the heat and power parameters of TPPs operating in a wide range of loads. In this connection, the tasks of modernization of the ACS TPPs based on innovative methods of structural and parametric optimization of dynamic systems that significantly affect the efficiency, reliability and durability of the TPP operation, and the development of a methodology for calculating the economic efficiency of their implementation become relevant. First of all, it concerns the ACS of the water level in the boiler drum, since the latter belong to the first group of the most complex and responsible ACSs, the reliability and maintainability indicators of which are given in [2].

To eliminate these drawbacks, an invariant ACS of the power supply of the drum boiler has been developed. The invariant system with the allocation of an equivalent external disturbance differs from the typical one in that the structure of the stabilizing regulator is selected on the basis of the transfer function of the optimal regulator, the structure and parameters of the dynamic adjustment of the correcting device are based on the transfer function of the optimal regulator taking into account the dynamics of the equivalent control object including the inner loop of the stabilizing regulator.

### References

1. Borushko A. P., Karnitskiy N. B., & Borushko G. A. (2007) Power Station Reliability and Efficiency (Methods and Practice). Minsk: BNTU. 182 p..
2. Kulakov G. T., & Kukhorenko A. N. (2015) Invariant System of the Steam-Drum Boiler Feed Automatic Regulation. Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeti- cheskikh Obединenii SNG [Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.], 5, 59–68.

Д.М. Умурзакова

## СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЕК РОБАСТНЫХ ТИПОВЫХ РЕГУЛЯТОРОВ

(Ташкентский государственный технический университет)

Приведены рекомендации по расчету настроек робастных типовых регуляторов с использованием критерия максимальной степени устойчивости. Отмечено, что в отличие от других критериев данный критерий в совокупности с гарантирующим подходом придает методике расчета безытерационный характер.



В практике проектирования систем управления технологическими процессами, несмотря на появление новых методов управления, большое распространение получили типовые проектные решения на основе использования традиционных законов регулирования. При этом предполагается возможность адекватного описания широкого класса регулируемых объектов линейными динамическими моделями, используемыми для настройки типовых регуляторов. Пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) регулятор считается достаточно близким к оптимальному, основанному на теории предсказания Колмогорова-Винера [1, 2]. Известно, что для простейших типовых моделей, ограниченных 2-м порядком дифференциальных уравнений с запаздыванием, размерность типового регулятора не превышает размерности уравнений объекта, а сам регулятор представляет собой ПИД-регулятор. Однако с повышением требований к качеству реализации технологических режимов может оказаться, что динамическая точность регулирования с типовым ПИД-регулятором, настроенным по линейной модели, становится недостаточной. В таких случаях идут либо на усложнение информационной структуры системы [3] (примером могут служить системы с дополнительным импульсом из промежуточной точки, каскадные САУ и др.), либо на использование более гибких подходов к расчету настроек регуляторов при заданной структуре автоматической системы регулирования (АСР) (примером могут служить методы синтеза робастных регуляторов с использованием интервальной модели объекта). Однако и при таком подходе остается не полностью решенной задача выбора критерия оптимальности настройки регулятора.

В данной статье предлагается алгоритм решения задачи расчета настроек робастных регуляторов с помощью критерия максимальной степени устойчивости [4]. Степенью устойчивости системы называют наименьшее расстояние от мнимой оси до ближайшего корня в левой полуплоскости. Основными достоинствами этого критерия являются малая чувствительность получаемых характеристик к параметрическим и моментным возмущениям и максимальные запасы устойчивости спроектированных АСР. Основными этапами алгоритма решения задачи являются следующие:

1. В соответствии с гарантирующим подходом по имеющимся граничным значениям параметров интервальной модели объекта оценивается наихудшее сочетание параметров объекта.

2. Для модели вида  $W(p) = [\bar{K}_{oo}, \underline{K}_{oo}] \cdot e^{-[\bar{\tau}, \underline{\tau}]p} / ([\bar{T}_2, \underline{T}_2]^2 p^2 + [\bar{T}_1, \underline{T}_1]p + 1)$  формируется номинальная (расчетная) модель объекта в виде передаточной функции с наихудшим сочетанием параметров объекта  $W(p) = [\bar{K}_{ia}] e^{-[\bar{\tau}]p} / ([\bar{T}_2]^2 p^2 + [\bar{T}_1]p + 1)$ .

3. Записывается характеристическое уравнение замкнутой системы. Для ПИД-регулятора и полученной расчетной модели уравнение имеет вид:

$$\bar{T}_2^2 \bar{\tau}^3 \lambda^3 + (9\bar{T}_2^2 \bar{\tau}^2 + \bar{T}_1 \bar{\tau}^3) \cdot \lambda^2 + (18\bar{T}_2^2 \bar{\tau} + 6\bar{T}_1 \bar{\tau}^2 + \bar{\tau}^3) \cdot \lambda + 6(\bar{T}_2^2 + \bar{T}_1 \bar{\tau}) + 3\bar{\tau}^2 = 0.$$



4. Определяем максимальную степень устойчивости [4]. Для чего характеристическое уравнение замкнутой системы дифференцируем по « $p$ » три раза и полученное выражение приравняем к нулю. Получаем соотношение для расчета максимальной степени устойчивости системы с моделью 2-ого порядка и ПИД-регулятора.

5. Выполняется расчет параметров настроек регулятора по критерию максимальной степени устойчивости замкнутой системы. Полученные с учетом параметров интервальной модели объекта формулы для расчета настроек ПИД-регулятора приведены в таблице 1.

В отличие от других критериев оптимальности, которые далеко не всегда однозначно характеризуют оптимальные параметры настроек регулятора, а требуют нескольких итераций алгоритма расчета, например при использовании критерия равной степени затухания, рассмотренная методика реализует безытерационный алгоритм расчета параметров настроек регулятора, функционирующего в условиях неопределенности.

Таблица 1 – Формулы расчета параметров ПИД – регулятора по критерию максимальной степени устойчивости с моделью 2-го порядка

| Настроечные параметры ПИД-регулятора | Модель объекта 2-ого порядка<br>$W(p) = \bar{K}_{об} \cdot \exp(-\bar{\tau} \cdot p) / (\bar{T}_2^2 \cdot p^2 + \bar{T}_1 \cdot p + 1)$   |
|--------------------------------------|---|
| $K_{II}$                             | $-1 / \bar{K}_{об} \cdot \left[ \frac{2 \cdot \bar{K}_{об} \cdot K_{д} \cdot \lambda + (\bar{T}_2^2 \cdot \bar{\tau} \cdot \lambda^3 + (3 \cdot \bar{T}_2^2 + \bar{T}_1 \cdot \bar{\tau}) \cdot \lambda^2 + (2\bar{T}_1 + \bar{\tau}) \cdot \lambda + 1) \cdot \exp(\bar{\tau} \cdot \lambda)}{\bar{K}_{об} \cdot (\bar{T}_2^2 \cdot \lambda^3 + \bar{T}_1 \cdot \lambda^2 + \lambda)} \right]$                                   |
| $K_{II}$                             | $-1 \cdot [K_{д} \cdot \lambda^2 + K_{II} \cdot \lambda + \exp(\bar{\tau} \cdot \lambda)] / \bar{K}_{об} \cdot (\bar{T}_2^2 \cdot \lambda^3 + \bar{T}_1 \cdot \lambda^2 + \lambda)$   |
| $K_{д}$                              | $-1 / (2 \cdot \bar{K}_{об}) \cdot \left[ \frac{\bar{T}_2^2 \cdot \bar{\tau}^2 \cdot \lambda^3 + (6\bar{T}_2^2 \cdot \bar{\tau} + \bar{T}_1 \cdot \bar{\tau}^2) \cdot \lambda^2 + (6\bar{T}_2^2 + 4\bar{T}_1 \cdot \bar{\lambda} + \bar{\tau}^2) \cdot \lambda + 2(\bar{T}_1 + \bar{\tau})}{\bar{K}_{об} \cdot (\bar{T}_2^2 \cdot \lambda^3 + \bar{T}_1 \cdot \lambda^2 + \lambda)} \right] \cdot \exp(\bar{\tau} \cdot \lambda)$ |

### Литература

1. Ротач, В.Я. Теория автоматического управления: учебник для студентов вузов. – 4-е изд. – М.: Изд-во МЭИ, 2007. – 400 с.
2. Смирнов, Н.И. Оптимизация одноконтурных АСР с многопараметрическими регуляторами / Н.И. Смирнов, В.Р. Сабанин, А.И. Репин // Промышленные АСУ и контроллеры. 2005, № 7. – С. 24-28.