

Г. Т. КУЛАКОВ, А. Н. СЛУЦКИЙ  
 БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
 Минск, Беларусь

Развитие современных средств автоматизации технологических процессов идет в направлении расширения функциональных возможностей ПИД-регуляторов, для реализации которых в контроллерах в настоящее время используется более 20 структур. Первые публикации по расчету параметров динамических настроек ПИД-регуляторов относятся к 1935 г. В настоящее время число методов расчета параметров динамической настройки ПИД-регуляторов составляет более 1700, а база патентов по ПИД-регуляторам – 500 [1]. Актуальной становится проблема выбора лучшего метода расчёта параметров оптимальной динамической настройки ПИД-регуляторов.

Для объектов с самовыравниванием, динамика которых описывается передаточными функциями инерционных звеньев второго порядка с различными постоянными времени с запаздыванием по каналу регулирующего воздействия, для расчёта параметров динамической настройки классического ПИД-регулятора предложено использовать 67 методов [2]. Для оптимальной отработки задания или крайнего внешнего возмущения предложенных методов предложим метод полной компенсации в частном и общем виде [3]. В методе полной компенсации в общем виде (МПК в ОБ) в качестве критерия оптимального переходного процесса используется оптимальная передаточная функция замкнутой системы по задающему воздействию в виде инерционного звена первого порядка с запаздыванием, время разгона которого равно величине запаздывания по каналу регулирующего воздействия. МПК в ОБ позволяет вначале определить структуру типового регулятора по передаточной функции конкретного объекта [3]. Для расчета параметров оптимальной динамической настройки ПИД-регуляторов с учетом ограничения приведенной величины регулирующего воздействия [4] используется обобщенный критерий, подробно рассмотренный в [5].

Были проведены сравнительные исследования различных методов оптимизации динамических настроек ПИД-регуляторов зарубежных и отечественных авторов. В качестве примера приведем графики оптимальной отработки скачка задания и внешнего возмущения для объекта регулирования с передаточной функцией  $W_{об}(p) = \frac{K_{об} e^{-\tau_y p}}{(T_1 p + 1)(\sigma_p p + 1)} = \frac{2,3 e^{-10p}}{(98p + 1)(49p + 1)}$  при различных методах оптимизации ПИД-регуляторов (рис. 1).

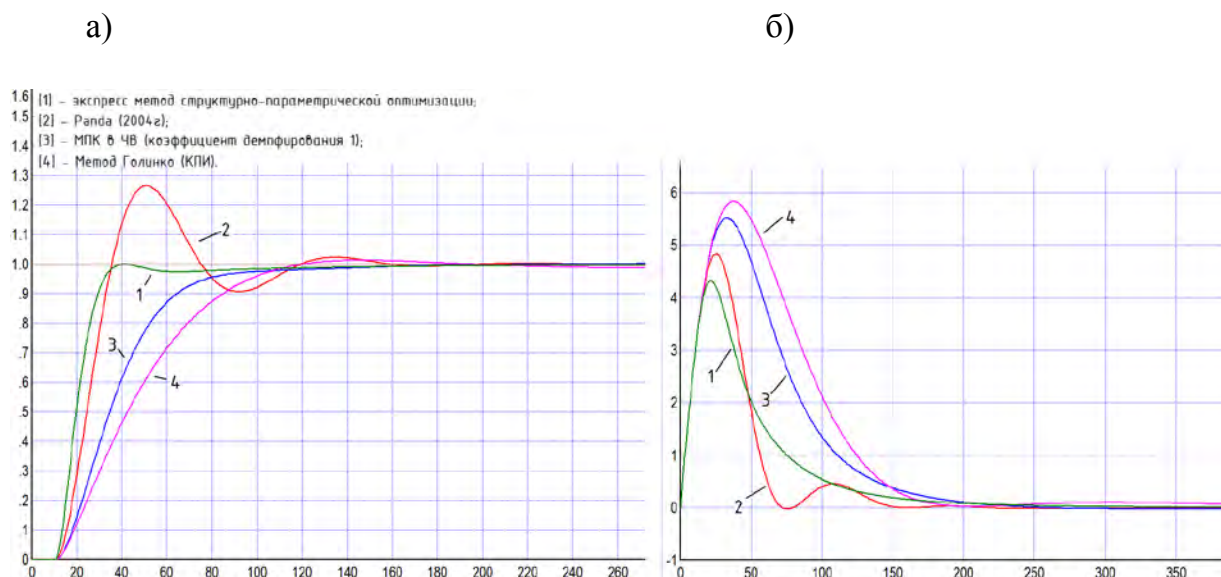


Рис. 1. Переходные процессы в системе с ПИД-регулятором при различных методах оптимизации: а – при изменении скачка задания; б – при изменении внешнего возмущения

Из анализа графиков переходных процессов в системе регулирования, полученных в результате моделирования в пакете Simulink, следует, что лучшие прямые показатели качества обеспечивают экспресс-методы структурно-параметрической оптимизации на базе передаточных функций оптимальных регуляторов [1]. Они обеспечивают быструю отработку скачка задания без перерегулирования (кривая 1): время регулирования по сравнению с аналогом дальнего зарубежья [2] уменьшает в 1,8 раза, а приеминость отработки задания повышается на 38 % по сравнению с аналогом ближнего зарубежья [4]. При отработке крайнего внешнего возмущения максимальная динамическая ошибка регулирования по методу [1] меньше по сравнению с методами ближнего зарубежья [4] на 34 % и по сравнению с методами дальнего зарубежья [2] на 11 %.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кулаков, Г. Т.** Теория автоматизированного управления теплоэнергетическими процессами: учебное пособие / Г. Т. Кулаков. – Минск: Выш. шк., 2017. – 238 с. : ил.
2. **Aidan, O'Dwyer** Hardbook of PI and PID Controller Tuning Rules. 3<sup>rd</sup> Edition. Dublin: Institute of Technology; Ireland, Imperial College Press, 2009. – 529 p.
3. **Кулаков, Г. Т.** Анализ и синтез систем автоматического регулирования / Г. Т. Кулаков. – Минск : УП «Технопринт», 2003. – 135 с. : ил.
4. **Голинко, И. М.** Оптимальная настройка системы управления для объекта второго порядка с запаздыванием / И. М. Голинко // Теплоэнергетика. – 2014. – № 7. – С. 34–38.
5. **Голинко, И. М.** Экспресс-метод оптимальной настройки аналогового регулятора по интегральным критериям качества / И. М. Голинко, Ю. М. Ковриго, А. И. Кубрак // Теплоэнергетика. – 2014. – № 3. – С. 15–22.