

3. Раззаков, Ш. И. Контроль знаний в системе дистанционного обучения / Ш. И. Раззаков, У. З. Нарзиев, Р. Б. Рахимов. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2014. — № 7 (66). — С. 70-73. — URL: <https://moluch.ru/archive/66/10934/> (дата обращения: 02.03.2021).

УДК 681.5(076.5)

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОДЕЛИ  
ИНЕРЦИОННОГО УЧАСТКА ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ  
ПАРОВОГО КОТЛА ПО МОДЕЛЯМ ГЛАВНОГО  
И ОПЕРЕЖАЮЩЕГО УЧАСТКОВ**

Кулаков Г.Т.<sup>1</sup>, Кулаков А.Т.<sup>1</sup>, Кравченко В.В.<sup>1</sup>, Ковалев В.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>Белорусский государственный аграрный технический  
университет

Минск, Беларусь

Для расчета параметров оптимальной динамической настройки двухконтурных систем автоматического регулирования температуры перегретого пара паровых котлов необходимо иметь передаточные функции опережающего и инерционного участков пароперегревателя при скачкообразном возмущении впрыском. Вместе с тем экспериментально обычно определяют переходные характеристики опережающего и главного участков пароперегревателя, а динамику инерционного участка определяют графическим путем, что снижает точность идентификации инерционного участка и увеличивает трудозатраты. Для устранения этого недостатка разработан экспресс-метод идентификации инерционного участка пароперегревателя по экспериментальным переходным характеристикам опережающего и главного участков.

Для расчета параметров оптимальной динамической настройки типовой двухконтурной автоматической системы регулирования температуры перегретого пара паровых котлов необходимо знать динамику опережающего и инерционного участков

пароперегревателя [1-5]. Однако, экспериментально можно получить только переходные характеристики по температуре пара за впрыском (опережающий участок) и на выходе пароперегревателя (главный участок) при возмущении расходом воды на впрыск.

При экспериментальном определении динамических характеристик объекта регулирования (опережающего и главного участков) нахождение параметров передаточной функции опережающего участка ( $K_{оп}$ ,  $T_{оп}$  и  $\tau_{оп}$ ) не вызывает трудностей, так как на вход участка подается скачок регулирующего воздействия. Сложнее находят параметры передаточной функции инерционного участка ( $K_{ин}$ ,  $T_{ин}$  и  $\tau_{ин}$ ), необходимые для расчёта параметров динамической настройки САР, поскольку экспериментально невозможно получить переходную характеристику инерционного участка  $\theta_{ин}(t)$ , т.к. на вход инерционного участка подается сигнал соответствующий переходной характеристике опережающего участка, а не скачек.

Обычно при расчетах переходную характеристику инерционного участка определяют по переходным характеристикам главного  $\theta_{гл}(t)$  и опережающего  $\theta_{оп}(t)$  участков [3]. Таким образом, вначале, экспериментально определяют переходную характеристику главного участка пароперегревателя, динамика которого описывается как произведение передаточных функций опережающего и инерционного участков пароперегревателя. Переходную характеристику инерционного участка определяют графически путем через переходные характеристики главного и опережающего участков [1], что снижает точность его идентификации и увеличивает трудозатраты. Для устранения этих недостатков предлагается следующий метод определения динамики инерционного участка по динамике опережающего и главного участков пароперегревателя.

Модель главного участка аппроксимируется по методу БНТУ [6] по переходной характеристике передаточной функцией вида:

$$W_{гл}(p) = \frac{K_{гл} e^{-\tau p}}{(T_{гл} p + 1)(\delta_{гл} p + 1)}. \quad (1)$$

Известно, что достоверно определить постоянные времени для моделей в виде инерционных звеньев третьего порядка и выше по экспериментальным переходным характеристикам практически невозможно, поэтому модель главного участка (1) представлена инерционным звеном второго порядка, следовательно, модели опережающего и инерционного участков можно принять в виде инерционных звеньев первого порядка, т.е.

$$W_{оп}(p) = \frac{K_{оп}}{T_{оп}p + 1}, \quad (2)$$

$$W_{ин}(p) = \frac{K_{ин}e^{-\tau}}{T_{ин}p + 1}. \quad (3)$$

С учетом передаточных функций (2) и (3) передаточная функция главного участка (1) примет вид:

$$W_{гл}(p) = \frac{K_{гл}e^{-\tau}}{(T_{гл}p + 1)(\delta_{гл}p + 1)} = \frac{K_{оп}K_{ин}e^{-\tau}}{(T_{оп}p + 1)(T_{ин}p + 1)}. \quad (4)$$

Поскольку передаточная функция опережающего участка (2) известна, то искомый коэффициент передачи инерционного участка  $K_{ин}$  будет равен:

$$K_{ин} = \frac{K_{гл}}{K_{оп}}. \quad (5)$$

Искомая постоянная времени  $T_{ин}$  с учетом передаточных функций (1) и (2) рассчитывается по формуле:

$$T_{ин} = (T_{гл} + \delta_{гл}) - T_{оп}. \quad (6)$$

В нашем примере передаточные функции главного и опережающего участков:

$$W_{гл}(p) = \frac{K_{гл}e^{-\tau}}{(T_{гл}p + 1)(\delta_{гл}p + 1)} = \frac{0,65e^{-49,5p}}{(158,5p + 1)(29,5p + 1)}, \quad (7)$$

$$W_{оп}(p) = \frac{K_{оп}}{(T_{оп}p + 1)(\delta_{оп}p + 1)} = \frac{10}{(42p + 1)(4,5p + 1)}. \quad (8)$$

Следовательно, с учетом формул (5) и (6) искомые параметры передаточной функции модели инерционного участка равны:

$$T_{ин} = (T_{гп} + \delta_{гп}) - (T_{оп} + \delta_{оп}) = (158,5 + 29,5) - (42 + 4,5) = 141,5 \text{ с.} \quad (9)$$

$$K_{ин} = \frac{K_{гп}}{K_{оп}} = \frac{6,5}{10} = 0,65. \quad (10)$$

Таким образом, искомая передаточная функция упрощенного инерционного участка пароперегревателя примет вид:

$$W_{ин}(p) = \frac{K_{ин} e^{-\tau p}}{T_{ин} p + 1} = \frac{0,65 e^{-49,5 p}}{141,5 p + 1}. \quad (11)$$

Сравним переходные характеристики главного участка по модели (7), модели объекта в виде последовательно включенных передаточных функций опережающего (8) и выделенного инерционного (11) участков и модели объекта в виде последовательно включенных передаточных функций упрощенного опережающего (2) и выделенного инерционного участков (11).

Схемы моделирования переходных характеристик главного участка пароперегревателя для трех перечисленных способов его аппроксимации в виде передаточных функций приведены на рисунке 1.

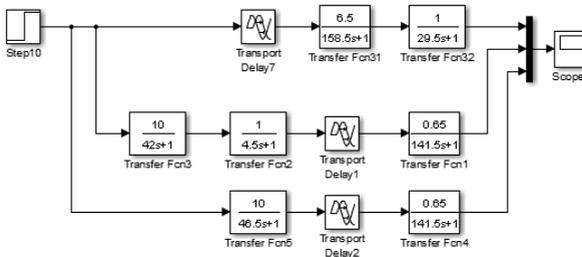


Рис.1. Схема моделирования переходных характеристик главного участка пароперегревателя для трех различных видов его моделей

Переходные характеристики полной модели главного участка (1), в виде последовательно включенных полных моделей опережающего (8) и упрощенного инерционного участков объекта (11), а также главного участка в виде упрощенных моделей опережающего (2) и инерционного (11) участков приведены на рисунке 2.

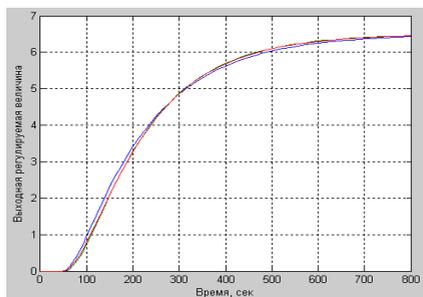


Рис. 2. Графики переходных характеристик главного участка пароперегревателя для трех различных видов его моделей

Видно, что графики переходных характеристик трех способов описания динамики главного участка пароперегревателя практически совпадают. Это подтверждает возможность использования упрощенной передаточной функции инерционного участка в виде инерционного звена первого порядка с запаздыванием, параметры которого рассчитывают по формулам (9) и (10) по исходной динамике главного и опережающего участков пароперегревателя.

### *Литература*

1. Стефани, Е.П. Основы расчета настройки регуляторов теплоэнергетических процессов / Е.П. Стефани. – М.: Энергия, 1972. – 372 с.
2. Ротач, В.Я. Расчет настройки промышленных систем регулирования / В.Я. Ротач. – М.: Госэнергоиздат, 1961. – 344 с.
3. Ключев, А.С. Наладка систем автоматического регулирования барабанных котлов / А.С. Ключев, А.Т. Лебедев, С.И. Новиков. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 280 с.
4. Кузьмицкий, И.Ф. Теория автоматического управления: учебник / И.Ф. Кузьмицкий, Г.Т. Кулаков. – Минск: БГТУ, 2010. – 574 с.
5. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: учеб. пособие / Г.Т. Кулаков [и др.]; под ред. Г.Т. Кулакова. – Минск: Вышэйшая школа, 2017. – 238 с.

6. Кулаков, Г.Т. Анализ и синтез систем автоматического регулирования: учеб. пособие / Г.Т. Кулаков. – Минск: УП «Технопринт», 2003. – 135 с.

УДК 378.147.88

## **ЦИФРОВИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ НА КАФЕДРЕ «РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ»**

Околов А.Р., Заярный В.П.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

Цифровизация образования или цифровая педагогика - это не просто полная компьютеризация образовательного процесса, а всестороннее использование современных информационных технологий во всех сферах деятельности вуза, основной целью которых является подготовка современных, творчески мыслящих, высококвалифицированных специалистов.

На кафедре «Робототехнические системы» ФИТР БНТУ в 4-х аудиториях активно используются цифровые устройства обучения, такие как интерактивные доски, электронные проекторы или ЖКИ панели, подключенные к компьютеру и интернету. Это позволяет повысить качество и объем методического материала, представляемого как в форме презентаций, так и формах, используемых в технологиях дистанционного образования [1]. Каждый год подготавливаются ЭУМК по нескольким учебным дисциплинам, что, вместе с развитием депозитария библиотеки БНТУ, является существенным информационным источником для студентов. Появляются широкие возможности по использованию облачных платформ [2].

Установка в аудиториях точек Wi-fi доступа позволила организовать онлайн-обучение в форме вебинаров, видеоконференций, научных диспутов и дискуссий и значительно повысить активность студентов.

Цифровизация лабораторий оказалась наиболее актуальной в нынешних условиях удаленного обучения, т.к. позволила разделять