

распределения нагрузок осуществлялась с учетом различных концентраций массы при размоле и производительности размольно-подготовительного отдела. В результате определялось число мельниц, степень дросселирования массы на выходе, число ступеней размола с разной концентрацией, а также количество линий параллельно включенных батарей, обеспечивающих заданные значения производительности отдела, степени помола и длины волокна, минимизирующих расход энергии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Черная, Н. В., Технология производства бумаги и картона: учеб. пособие для студентов учреждений высшего образования по специальности «Химическая технология переработки древесины» / Н.В. Черная, В.Л. Колесников, Н.В. Жолнерович. Минск : БГТУ, 2013. Колесников, В. Л. Системный анализ производственных процессов в полиграфии / В. Л. Колесников. Минск : БГТУ, 2011.

УДК 681.5

С.И. Немирович, студент; А.Г. Сеньков, доц., канд.техн.наук.,  
(БГАТУ, г. Минск)

### **КОМПЬЮТЕРНАЯ НАСТРОЙКА ПАРАМЕТРОВ РЕГУЛЯТОРА В САР С КОМБИНИРОВАННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

Современные программные пакеты для численного моделирования динамических систем предоставляют инженерам весьма широкие возможности для решения задач синтеза систем автоматического управления. В данной работе на примере системы автоматического регулирования температуры в помещении показана возможность использования пакета компьютерного моделирования Simulink для решения задачи синтеза системы автоматического регулирования (САР) с комбинированным управлением [1].

В качестве объекта регулирования использовался лабораторный учебный сушильный шкаф «ШСУ», имеющий объем сушильной камеры 10 л. Управляемой величиной являлась температура внутри шкафа  $\theta$  [°C]. Управляющее воздействие на объект – изменение мощности электронагревателя  $P$ , [Вт]. Основное возмущающее воздействие – изменение наружной температуры  $\theta_{ext}$ , [°C].

Передаточные функции объекта по управляющему и возмущающему воздействиям приближенно представлялись апериодическим звеном 1-го порядка [2, 3]:

$$W_{obj}^u(s) = \frac{\theta(s)}{P(s)} = \frac{K}{T \cdot s + 1}, \quad (1)$$

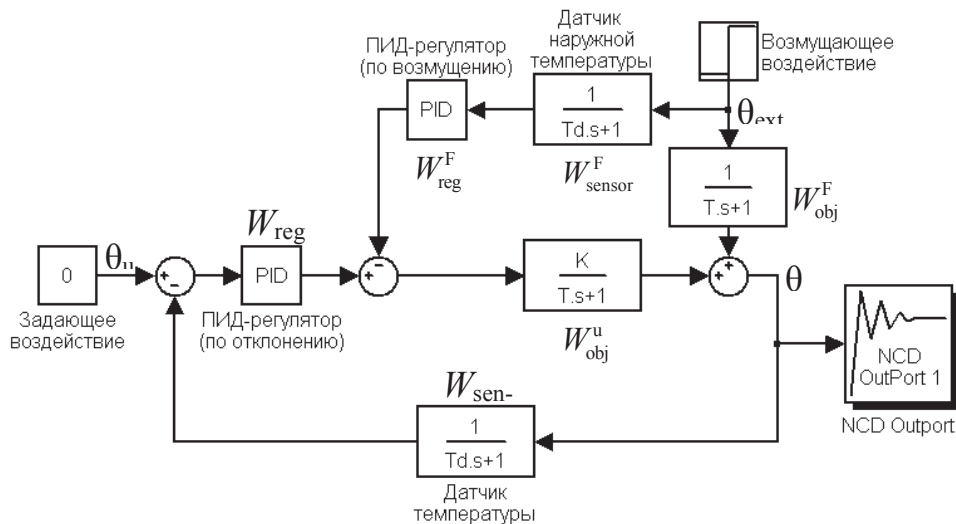
$$W_{obj}^F(s) = \frac{\theta(s)}{\theta_{ext}(s)} = \frac{1}{T \cdot s + 1}, \quad (2)$$

где  $T$  – постоянная времени, [с];

$K$  – коэффициент преобразования управляющего воздействия на объект, [°C/Вт].

На рис. 1 показана созданная в Simulink динамическая модель САР температуры в помещении.

Для улучшения качества регулирования САР при изменении возмущающего воздействия предлагается использовать комбинированный принцип управления. Компенсация возмущающего воздействия достигается за счет введения в структуру САР датчика наружной температуры и дополнительного ПИД-регулятора (по возмущению).



**Рисунок 1 – Динамическая компьютерная Simulink-модель САР температуры в помещении**

Передаточные функции обоих датчиков температуры (сенсоров), в качестве которых могут использоваться, например, термосопротивления, описываются аperiodическим звеном 1-го порядка [3]:

$$W_{\text{sensor}}(s) = W_{\text{sensor}}^F(s) = \frac{1}{T_{\text{sensor}} \cdot s + 1}, \quad (3)$$

где  $T_{\text{sensor}}$  – постоянная времени датчика, [с].

Как следует из приведенной на рис. 1 структурной схемы САР, передаточная функция САР по возмущающему воздействию равна:

$$W^F(s) = \frac{W_{\text{obj}}^F - W_{\text{sens}}^F \cdot W_{\text{reg}}^F \cdot W_{\text{obj}}^u}{1 + W_{\text{sens}}^F \cdot W_{\text{reg}}^F \cdot W_{\text{obj}}^u}.$$

Параметры ПИД-регулятора по отклонению  $K_p, K_i, K_d$ , таким образом, определяют значения корней характеристического уравнения САР, а, следовательно, такие показатели качества регулирования, как устойчивость, запас устойчивости, колебательность. Поэтому настройка значений параметров  $K_p, K_i, K_d$  может быть выполнена как по возмущающему, так и по задающему воздействию САР. Однако с учетом наличия цепи компенсации возмущающего воздействия, имеет смысл выполнять настройку параметров  $K_p, K_i, K_d$  ПИД-регулятора по отклонению по задающему воздействию. Для этого можно использовать входящий в состав пакета Simulink компонент NCD Outport, реализующий графический интерфейс для настройки параметров динамических систем [1].

Передаточная функция регулятора по возмущению определяется, исходя из соотношения:

$$W_{\text{obj}}^F - W_{\text{sens}}^F \cdot W_{\text{reg}}^F \cdot W_{\text{obj}}^u = 0.$$

Таким образом, с учетом (1) – (3) получается следующее:

$$W_{\text{reg}}^F = \frac{T_{\text{sensor}} \cdot s + 1}{K}. \quad (4)$$

Передаточная функция (4) может быть реализована с использованием еще одного ПИД-регулятора (на рис. 1 – по возмущению):

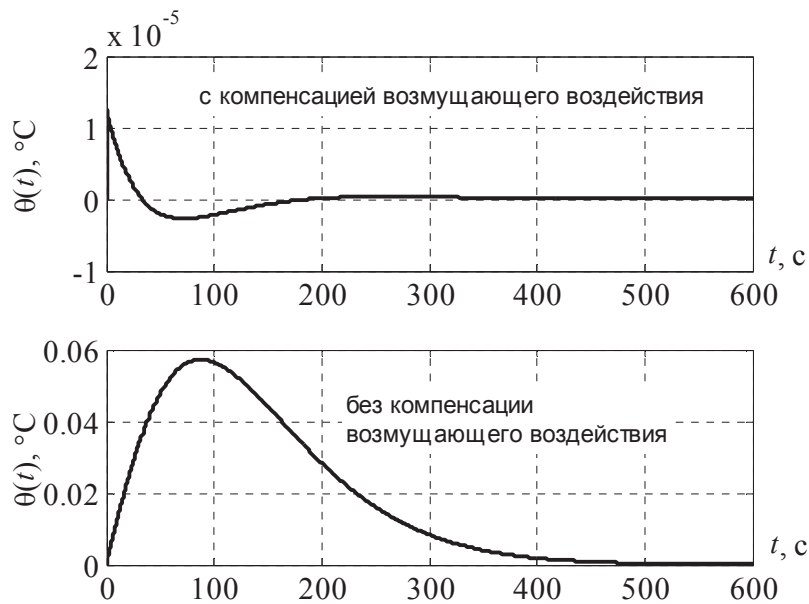
$$W_{\text{reg}}^F = K_p^F + K_i^F \cdot \frac{1}{s} + K_d^F \cdot s,$$

где значения коэффициентов равны:

$$K_p^F = 1/K;$$

$$K_i^F = 0;$$

$$K_d^F = T_{\text{sensor}}/K.$$



**Рисунок 2 – Переходные функции САР по возмущающему воздействию, полученные путем численного моделирования в Simulink**

Для сравнения на рис. 2 показаны переходные функции САР по возмущающему воздействию при использовании комбинированного регулирования (с дополнительной компенсацией возмущающего воздействия) и при использовании регулирования только по отклонению.

Как видно из рис. 2, использование комбинированного управления позволяет значительно улучшить качество регулирования системы при изменении возмущающего воздействия.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ощепков А.Ю. Системы автоматического управления: теория, применение, моделирование в MATLAB: Учебное пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Издательство «Лань», 2013. – 208 с.: ил. – (Учебники для вузов. Специальная литература).
2. Сотников А.Г. Автоматизация систем кондиционирования воздуха и вентиляции. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отделение), 1984. 240 с., ил.
3. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического регулирования, издание третье, исправленное. Бесекерский В.А., Попов Е.П., издательство «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, М., 1975, 768 стр.