

## АВТОНОМНЫЙ УНИВЕРСАЛЬНЫЙ НАСТРОЙЩИК ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ

**Александров А. Г.<sup>1</sup>, Шатов Д. В.<sup>2</sup>**  
(Учреждение Российской академии наук  
Институт проблем управления РАН, Москва)

*Предлагается автономный настройщик ПИД-регуляторов, позволяющий существенно упростить процесс обслуживания контуров регулирования технологическими процессами с ПИД-регуляторами. Настройщик производит идентификацию параметров объекта управления, позволяющую производить подстройку параметров ПИД-регуляторов. Настройщик реализован на отдельном контроллере, и для работы использует только входные и выходные значения объекта управления, что делает его автономным и универсальным. Особенностью настройщика является возможность работы в условиях интенсивных внешних возмущений, действующих на технологический процесс.*

Ключевые слова: идентификация, ПИД-регулятор.

### **1. Введение**

ПИД-регуляторы широко распространены в управлении технологическими процессами. Такие процессы часто имеют различные режимы работы, и поэтому необходима периодическая перенастройка ПИД-регуляторов, управляющих ими. Операторы. Обслуживающие устройства автоматизации технологического процесса, часто не успевают осуществить такую

---

<sup>1</sup> Альберт Георгиевич Александров, доктор физико-математических наук, профессор (alex7@ipi.ru).

<sup>2</sup> Дмитрий Владимирович Шатов, (dvshatov@gmail.com).

перенастройку, и кроме того, во многих случаях их квалификация недостаточна для такой перенастройки.

Существуют самонастраивающиеся ПИД-регуляторы, но для их правильной работы принципиальным условием осуществления настройки регулятора является слабое внешнее возмущение или его полное отсутствие. Используемый в настройщике алгоритм идентификации [1] позволяет проводить идентификацию, при широком классе внешних возмущений.

В [2, 3] предлагался настройщик ПИД-регуляторов, реализованный как отдельный функциональный блок системы управления, в настоящей работе настройщик реализован в виде отдельного устройства, связанного с технологическим процессом только посредством электрических сигналов. Настройщик выполняет идентификацию параметров объекта управления, которые используются для корректировки параметров ПИД-регулятора. Настройщик работает параллельно с работой замкнутого контура.

## 2. Алгоритм работы настройщика

Рассмотрим систему автоматического регулирования. Уравнение объекта имеет вид:

$$(1) \quad T^{[i]} \dot{y}(t) + y(t) = k_p^{[i]} u(t - \tau^{[i]}) + f(t), \quad i = 1, 2, 3, \dots, N \\ t^{[i]} \leq t < t^{[i+1]},$$

где  $y(t)$  — измеряемый выход объекта,  $u(t)$  — управляющее воздействие,  $f(t)$  — неизвестное, ограниченное внешнее возмущение, действующее на объект,  $i$  — номер режима работы объекта.  $k_p^{[i]}, T^{[i]}, \tau^{[i]}$  — параметры объекта управления: коэффициент усиления, постоянная времени и запаздывание соответственно, которые изменяются в момент времени  $t^{[i]}$  и сохраняют свое значение на интервалах времени  $t^{[i]} \leq t < t^{[i+1]}$ , которые достаточно велики.

ПИД-регулятор описывается уравнением:

$$(2) \quad g^{[i]}\dot{u}(t) + u(t) = k_c^{[i]}\varepsilon(t) + \frac{1}{T_i^{[i]}} \int_0^t \varepsilon(t) d\tilde{t} + T_d^{[i]}\dot{\varepsilon}(t),$$

$$\varepsilon(t) = y^*(t) - y(t);$$

где  $g^{[i]}, k_c^{[i]}, T_i^{[i]}, T_d^{[i]}$  — коэффициенты ПИД-регулятора,  $y^*(t)$  — задающее воздействие (уставка),  $\varepsilon(t)$  — ошибка слежения. Параметры регулятора рассчитываются, исходя из модели объекта, и также остаются постоянными для каждого режима работы объекта.

При изменении параметров объекта требуется соответствующее изменение коэффициентов регулятора, для сохранения системой устойчивости и поддержания требуемого качества регулирования.

Настройщик служит для идентификации коэффициентов модели объекта и изменения коэффициентов ПИД-регулятора. Для своего функционирования настройщик использует сигналы  $u(t)$  и  $y(t)$ , которые используются в процессе идентификации. Кроме того для проведения идентификации необходимо на вход регулятора подавать испытательный сигнал

Работа настройщика построена следующим образом. К ошибке слежения, подаваемой на вход регулятора, добавляется испытательный сигнал, в результате она принимает вид:

$$(3) \quad \varepsilon(t) = y^*(t) - y(t) + v(t)$$

где  $v(t)$  — испытательный сигнал вида:

$$(4) \quad v^{[i]}(t) = \rho_1^{[i]}(t)\sin(\omega_1^{[i]}t) + \rho_2^{[i]}\sin(\omega_2^{[i]}t) \quad i = 0, 1, 2, \dots, N,$$

где  $\omega_k^{[i]} = \frac{k}{2T}$ , ( $k = 1, 2$ ) — частоты испытательного сигнала,  $\rho_k^{[i]}$ , ( $k = 1, 2$ ) — амплитуды испытательного сигнала, выбираемые из условия  $\rho_1 + \rho_2 < \eta u^*$ , где  $\eta$  — положительное число.

В настройщик поступают сигналы управления с регулятора и выход объекта, они проходят через фильтры Фурье:

$$\begin{aligned}
 a_{yk} &= \frac{2}{\rho_k t_f} \int_{T_F}^{T_F+t_f} y(t) \sin(\omega_k t) dt & b_{yk} &= \frac{2}{\rho_k t_f} \int_{T_F}^{T_F+t_f} y(t) \cos(\omega_k t) dt \\
 (5) \quad a_{uk} &= \frac{2}{\rho_k t_f} \int_{T_F}^{T_F+t_f} u(t) \sin(\omega_k t) dt & b_{uk} &= \frac{2}{\rho_k t_f} \int_{T_F}^{T_F+t_f} u(t) \cos(\omega_k t) dt \\
 & & & (k=1,2)
 \end{aligned}$$

где  $T_F$  — момент начала фильтрации испытательного сигнала,  $t_f$  — время фильтрации сигнала.

Используя выходы фильтров Фурье, найдем числа:

$$(6) \quad \alpha_i = \frac{a_{yi} a_{ui} + b_{yi} b_{ui}}{a_{ui}^2 + b_{ui}^2}, \quad \beta_i = \frac{-a_{yi} b_{ui} + b_{yi} a_{ui}}{a_{ui}^2 + b_{ui}^2}, \quad (i=1,2),$$

которые дают коэффициенты объекта:

$$\begin{aligned}
 (7) \quad T^2 &= \frac{(\alpha_2^2 + \beta_2^2) - (\alpha_1^2 + \beta_1^2)}{\omega_1^2 (\alpha_1^2 + \beta_1^2) - \omega_2^2 (\alpha_2^2 + \beta_2^2)}, & k^2 &= (\alpha_2^2 + \beta_2^2)(T^2 \omega_2^2 + 1); \\
 \tau &= \frac{1}{\alpha_1} \operatorname{arctg} \frac{\beta_1 + T \alpha_1 \omega_1}{\alpha_1 - T \beta_1 \omega_1}, & \omega_1 \tau &< \frac{\pi}{2};
 \end{aligned}$$

### 3. Экспериментальные исследования настройщика

Для экспериментального исследования работы программного обеспечения настройщика был разработан специальный стенд полунатурных испытаний.

Стенд состоит из двух контроллеров ПЛК ОВЕН-150 и промышленного контроллера WinPAC-8441. В контроллере WinPAC реализован настройщик. В контроллерах ОВЕН имитируется технологический процесс. На одном контроллере содержится имитатор объекта (1), в который заложена возможность периодической смены коэффициентов объекта. На втором контроллере работает ПИД-регулятор, который управляет объектом. Настройка связан с технологическим процессом только посредством электрических сигналов. На рис. 1 приведена схема стенда полунатурных испытаний.

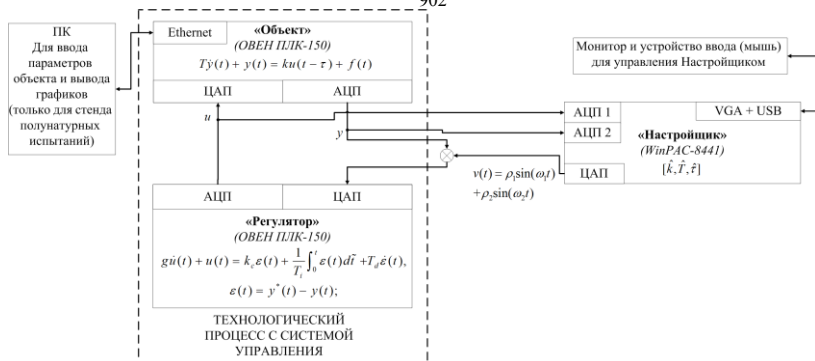


Рис. 1. Схема стенда для экспериментальных исследований настройщика

В качестве ПИД-регулятора использовался стандартный функциональный блок, поставляемый вместе со средой разработки. Расчет коэффициентов ПИД-регулятора осуществлялся по алгоритму, предложенному в [4].

В эксперименте на начальном режиме работы объекта были заложены следующие параметры объекта управления:  $k_p = 3,00; T = 20,00; \tau = 5,00$ .

Внешнее возмущение принято одинаковым на протяжении всего эксперимента и равно  $f(t) = 0,30 \text{sign}[\sin(2,10t)]$ . Величина уставки в эксперименте была постоянной и равна  $y^* = 2,00$ .

Для указанных параметров объекта были рассчитаны коэффициенты регулятора  $g = 1,67; k_c = 0,50; T_i = 45,00; T_d = 1,11$ .

Затем была произведена смена параметров объекта, их значения стали соответственно:  $k_p = 1,30; T = 33,00; \tau = 8,00$ . Настройщик произвел идентификацию параметров объекта управления, на его выходе были получены следующие значения оценок параметров  $\hat{k}_p = 1,54; \hat{T} = 28,00; \hat{\tau} = 3,50$ .

Параметры настройщика в течение всего эксперимента принимали следующие значения. Частоты испытательного сигнала выбирались следующими:  $\omega = [0,011; 0,022]$ ; параметр

для расчета амплитуд испытательного сигнала выбран  $\eta=0,01$  (суммарная амплитуда испытательного сигнала равна 1% от уставки), по этому параметру амплитуды гармоник испытательного сигнала были рассчитаны как  $\rho = [0,007; 0,013]$ .

По оценкам, найденным настройщиком, были рассчитаны новые коэффициенты регулятора  $g = 1,40$ ;  $k_c = 1,11$ ;  $T_i = 27,00$ ;  $T_d = 1,82$ . На рис. 2 приведены графики выходного сигнала объекта после смены коэффициентов регулятора и затем после смены регулятора.

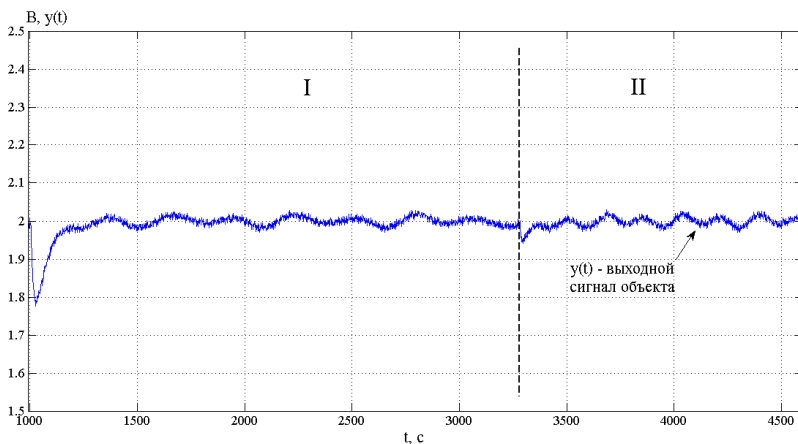


Рис. 2. Выходной сигнал объекта

## Литература

1. АЛЕКСАНДРОВ А. Г. *Адаптивное управление объектом с запаздыванием* : Труды IX Международной Четаевской конференции "Аналитическая механика, устойчивость и управление движением", посвященной 105 - летию Н.Г. Четаева, – 2007, – Т. 3, Управление и оптимизация, – С. 6–13.
2. АЛЕКСАНДРОВ А. Г., ШАТОВ Д.В. *Настройщик для ПИД-регулятора* : Труды 13-й международной конферен-

- ции "Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта" (CAD/CAM/PDM-2013, Москва), – М.: ИПУ РАН, 2013. – С. 65-68.
3. ШАТОВ Д. В., АЛЕКСАНДРОВ А.Г. Настройщик для системы автоматического регулирования : Материалы конференции Управление большими системами. – Уфа: УГАТУ, 2013. – Т. 3. – С. 15-18.
  4. VISIOLI A. *Improving the load disturbance rejection performance of IMC-tuned PID-controllers* : Proc. Of 15<sup>th</sup> Triennial World Congress, – Barcelona, 2002, Preprints, Spain, – P. 666-671.

## AUTONOMOUS UNIVERSAL TUNER FOR PID-CONTROLLERS

**Albert Alexandrov**, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Doctor of Science, professor (alex7@ipu.ru).

**Dmitriy Shatov**, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, (dvshatov@gmail.com).

*Abstract: An autonomous tuner for PID-controllers is represented. The tuner allows to simplify the service of manufacturing processes with PID-controllers. The tuner identifies the manufacturing plant parameters, that can be used for automatic tuning of PID-controller. The tuner itself is represented as a separate industrial controller, that only use for work input and output plant signals. That's why tuner is autonomous and universal. The tuner has feature to work in presence of intense disturbances.*

Keywords: identification, PID-controller.