

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Российский фонд фундаментальных исследований  
**ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет  
имени Гагарина Ю. А.»**  
Институт радиотехники и электроники РАН  
Институт проблем точной механики и управления РАН  
ФГУ «Государственный НИИ информационных технологий и коммуникаций»  
ФГБОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет имени  
академика С. П. Королёва»

Саратовский научный центр РАН  
ОАО «КБ Электроприбор»  
Филиал ФГУП «НПЦАП им. академика Н. А. Пилюгина» ПО «Корпус»  
ОАО ЭОКБ «Сигнал» им. А. И. Глухарёва  
ФГУП НПП «АЛМАЗ»

# **ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, ОБРАБОТКИ И ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ**

**(АТМ-2013)**

**СБОРНИК ТРУДОВ  
III МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
Сентябрь 2013 года**

Том 1

**Саратов 2013**

УДК 681.51 + 004.9

ББК 32.965

П78

Р е д а к ц и о н н а я к о л л е г и я :

Доктор технических наук, профессор А. А. Львов (общая редакция)

Член-корреспондент РАН, д.т.н., профессор А. Ф. Резчиков

Доктор физико-математических наук, профессор В. Б. Байбурин

Доктор физико-математических наук, профессор Е. Ю. Альтшулер

Доктор технических наук, профессор А. А. Большаков

Доктор технических наук, профессор Ю. В. Садомцев

Доктор технических наук, доцент М. С. Светлов

П78

Проблемы управления, обработки и передачи информации (АТМ-2013): сб. тр. III Междунар. науч. конф.: в 2 т. / под ред. А.А. Львова и М.С. Светлова. Саратов: Издательский дом «Райт-Экспо», 2013. – Т.1. – 330 с.

ISBN 978-5-4426-0021-6

В сборнике публикуются избранные труды участников III Международной научной конференции «Проблемы управления, обработки и передачи информации (АТМ-2013)», состоявшейся в сентябре 2013 г. в Саратовском государственном техническом университете имени Гагарина Ю.А.

Представленные материалы отражают современные подходы к созданию и использованию методов современной теории управления, распределенных информационно-управляющих систем, цифровой обработки сигналов в информационно-управляющих системах, автоматизации решения сложных вычислительных задач, автоматизации управления в административных, финансовых и коммерческих сферах.

Сборник ориентирован на специалистов, занимающихся разработкой и применением методов теории управления, интеллектуальных систем, компьютерных технологий для анализа и синтеза систем управления, технических, технологических и социально-экономических систем.

Тезисы и доклады рецензированы и отредактированы Программным комитетом конференции.

УДК 681.51 + 004.9

ББК 32.965

© Коллектив авторов, 2013

ISBN 978-5-4426-0021-6

**СЕКЦИЯ 1**

**ТЕОРИЯ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ**

## 1. Теория систем управления

Если при этом выполняется условие:

$$\frac{\delta_0}{|2\delta_0 - d_0|} < 0,5,$$

то система не удовлетворяет требованиям (7) по грубости.

1. Основы автоматического регулирования / под ред. В. В. Солодовникова. – М.: Машгиз, 1954.
2. Воронов, А. А. Основы теории автоматического управления. Ч.I. Линейные системы регулирования одной величины / А. А. Воронов. – М.; Л.: Энергия, 1965.
3. Летов, А. М. Аналитическое конструирование регуляторов. I–IV / А. М. Летов // АиТ. 1960. № 4. с. 436–441; № 5 с. 561–568; № 6. с. 661–665; 1961. № 4. с. 425–435
4. Kalman, R. E. Contribution to the theory of optimal control // Bullet. Soc. Mat. Mech. 1960. Vol. 5. № 1. P. 102–119.
5. State-space solution to standart  $H_2$  and  $H_\infty$  control problem / J. C. Doyle, K. Glover, P. P. Khargonekar, B. A. Francis // IEEE Trans. Autom. Contr. 1989. – Vol. 34. – № 8. – P. 831–846.
6. Александров, А. Г. Методы построения систем автоматического управления / А. Г. Александров. – М.: Физматлит, 2008. – 230 с.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАСТРОЙЩИКА ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ

Александров А. Г., Шатов Д. В.

Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, alex7@ipu.ru,  
dvshatov@gmail.com

Рассмотрим систему автоматического регулирования. Уравнение объекта имеет вид:

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

где  $y(t)$  – измеряемый сигнал с выхода 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, изменяющиеся в моменты времени  $t^{[i]}$  и сохраняющие свое значение на интервалах времени  $t^{[i]} \leq t < t^{[i+1]}$ , которые достаточно велики.

ПИД-регулятор описывается уравнением:

$$g^{[i]}\dot{u}(t) + u(t) = k_c^{[i]}\varepsilon(t) + k_i^{[i]}\int_0^t \varepsilon(t)\tilde{t} + k_d^{[i]}\frac{d\varepsilon(t)}{dt}; \quad (2)$$
$$\varepsilon(t) = y^*(t) - y(t),$$

где  $g^{[i]}, k_c^{[i]}, k_i^{[i]}, k_d^{[i]}$  – коэффициенты ПИД-регулятора;  $y^*(t)$  – задающее воздействие (установка);  $\varepsilon(t)$  – ошибка слежения.

Параметры регулятора рассчитываются, исходя из модели объекта, и 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.

В [1, 2] для адаптации системы к меняющимся во времени параметрам объекта применяется адаптивный регулятор, построенный с использованием алгоритмов конечно-частотной идентификации и позволяющий найти параметры объекта управления в условиях действия внешнего возмущения. В настоящей работе предлагается использовать специальный настройщик (рис. 1).

Настройщик служит для идентификации коэффициентов модели объекта и изменения коэффициентов ПИД-регулятора. Настройщик работает параллельно с функционированием замкнутого контура системы регулирования. При изменении параметров объекта настройщик идентифицирует объект и осуществляет расчет коэффициентов регулятора по тому же алгоритму, что используется человеком-оператором.

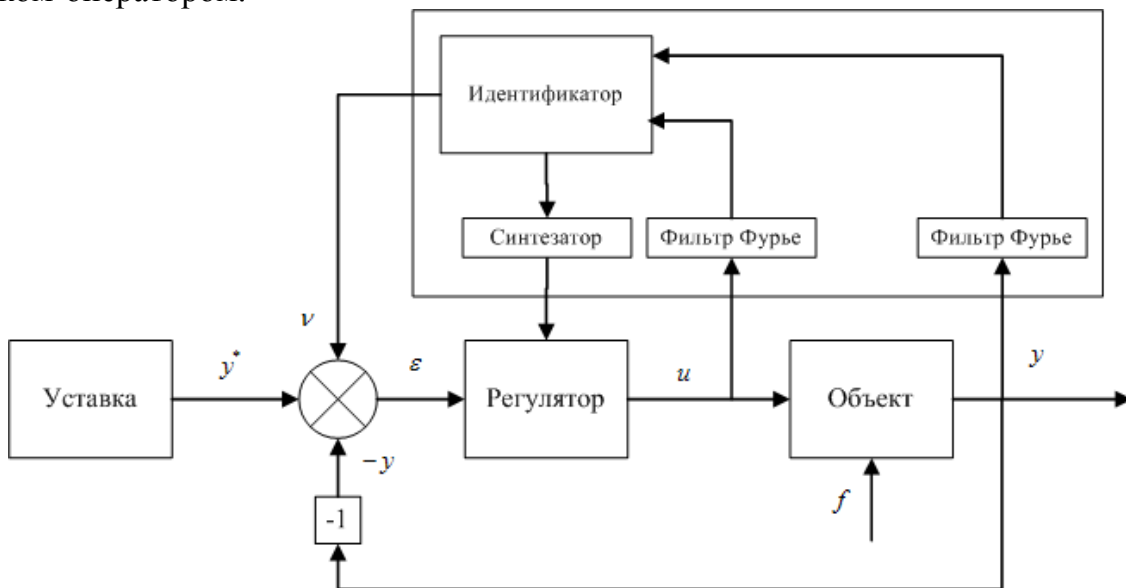


Рис. 1. Схема системы с настройщиком

Работа настройщика построена следующим образом. На вход контура регулирования, помимо задающего сигнала и измеренного сигнала с выхода объекта, дополнительно подается испытательный сигнал вида:

$$v(t) = \begin{cases} A, & t > 2iH; \\ -A, & t > (2i+1)H; \end{cases} \quad i = 0, 1, 2, \dots, \quad (3)$$

где  $2H$  – период испытательного сигнала, выбираемый исходя из постоянной времени объекта (1);  $A$  – амплитуда испытательного сигнала, выбираемая с учетом специфики работы объекта управления.

## 1. Теория систем управления

В настройщик поступают сигналы управления с регулятора и выхода объекта, которые проходят через фильтры Фурье:

$$a_{yi} = \frac{2}{\rho_i t_f} \int_{T_F}^{T_F+t_f} y(t) \sin(\omega_i t) dt; \quad b_{yi} = \frac{2}{\rho_i t_f} \int_{T_F}^{T_F+t_f} y(t) \cos(\omega_i t) dt;$$

$$a_{ui} = \frac{2}{\rho_i t_f} \int_{T_F}^{T_F+t_f} u(t) \sin(\omega_i t) dt; \quad b_{ui} = \frac{2}{\rho_i t_f} \int_{T_F}^{T_F+t_f} u(t) \cos(\omega_i t) dt, \quad (4)$$

$$(k = 1, 2),$$

где  $T_F$  – момент начала фильтрации испытательного сигнала;  $t_f$  – время фильтрации сигнала;  $\rho_i = \frac{2A\pi}{h(2i-1)}$ ,  $\omega_i = \frac{(2i-1)\pi}{h}$ , ( $i=1,2$ ) – параметры испытательного сигнала.

По значениям фильтров числа:

$$\alpha_i = \frac{a_{yi}a_{ui} + b_{yi}b_{ui}}{a_{ui}^2 + b_{ui}^2}; \quad \beta_i = \frac{-a_{yi}a_{ui} + b_{yi}b_{ui}}{a_{ui}^2 + b_{ui}^2}, \quad i = 1,2 \quad (5)$$

вычисляются параметры объекта:

$$T^2 = \frac{(\alpha_2^2 + \beta_2^2) - (\alpha_1^2 + \beta_1^2)}{\omega_1^2(\alpha_1^2 + \beta_1^2) - \omega_2^2(\alpha_1^2 + \beta_1^2)}; \quad k^2 = (\alpha_2^2 + \beta_2^2)(T^2\omega_2^2 + 1);$$

$$\tau = \frac{1}{\omega_1} \operatorname{arctg} \frac{\beta_1 + T\alpha_1\omega_1}{\alpha_1 - T\alpha_1\omega_1}; \quad \omega_1\tau < \frac{\pi}{2}. \quad (6)$$

После завершения идентификации настройщик вносит изменения в параметры регулятора.

Для экспериментального исследования настройщика был разработан испытательный стенд. Он состоит из промышленного контроллера ОВЕН 150У-М [3], содержащего 8-битные ЦАП и АЦП, и IBM-совместимого одноплатного промышленного компьютера Athena [4] со встроенными ЦАП разрядностью 12 бит и АЦП разрядностью 16 бит. Объект (1) имитируется промышленным компьютером Athena. Программное обеспечение регулятора (2) взято из стандартной библиотеки ПИД-регулятора, поставляемой вместе с контроллером. Расчет значений параметров по формулам (4) – (6) настройщика и пересчет параметров ПИД-регулятора (2) реализованы также на контроллере ОВЕН.

В эксперименте были выбраны следующие параметры объекта (1):  $T = 15,00$ ;  $k_p = 3,00$ ;  $\tau = 1,00$ . Для этого объекта был рассчитан регулятор:  $g = 0,19$ ;  $k_c = 3,23$ ;  $k_i = 15,50$ ;  $k_d = 0,48$ . Задающее воздействие  $y^*(t) = 1,00$ . При таких параметрах ошибка слежения по выходу объекта не превышала 5% при действии внешнего возмущения вида  $f(t) = 0,30 \sin(2,10t)$ . После смены режима объекта (изменение параметров объекта на 30%) ошибка возросла вдвое и превысила 10%. После завершения работы настройщика были идентифицированы новые параметры объекта и рассчитан новый ПИД-регулятор, после чего ошибка

слежения уменьшилась до 5%. Результаты эксперимента хорошо согласуются с результатами расчета и моделирования в среде MATLAB.

1. Александров, А. Г. Самонастраивающийся ПИД/И регулятор / А. Г. Александров, М. В. Паленов // Автоматика и телемеханика, 2011. – № – 10. – С. 4–18.
2. Александров, А. Г. Адаптивное управление объектом с запаздыванием / А. Г. Александров // Аналитическая механика, устойчивость и управление движением: труды IX междунар. Четаевской конф., посвящ. 105-летию Н. Г. Четаева, 2007. – Т. 3. – С. 6–13.
3. [http://www.owen.ru/uploads/re\\_plc150\\_1287.pdf](http://www.owen.ru/uploads/re_plc150_1287.pdf).
4. <http://www.diamondsystems.com/products/athena>.

## **СТАБИЛИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ВЫХОДЕ МАШИННО-ВЕНТИЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА**

Артюхов И. И., Бочкарев Д. А.

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.,  
[epp@sstu.ru](mailto:epp@sstu.ru)

Существующие системы генерирования электроэнергии наиболее часто строятся на основе синхронных электрических машин, которые вынуждены работать с фиксированной частотой вращения вала для обеспечения стабильности частоты выходного напряжения. Такие системы имеют ряд недостатков. В частности, при использовании дизеля в качестве первичного двигателя фактический расход топлива при работе такой системы на переменную нагрузку оказывается значительно выше заявленной величины [1]. В газоперекачивающих агрегатах (ГПА) с генераторами собственных нужд на валу исключается вариация частоты вращения вала турбины, которая является эффективным фактором оптимизации режима работы магистрального газопровода [2].

С развитием силовой электроники появились новые возможности совершенствования систем генерирования электроэнергии. Основным моментом является работа электрической машины (ЭМ) с переменной частотой вращения, причем могут быть применены как синхронные, так и асинхронные машины. При этом частота вращения вала ЭМ может устанавливаться принудительно, в соответствии с заданными настройками регулятора подачи топлива в дизель-генераторных установках или определяться внешними условиями работы системы генерирования электроэнергии, например, при регулировании производительности ГПА за счет изменения частоты вращения вала. Функции обеспечения параметров вырабатываемой электроэнергии (действующего значения, частоты и формы кривой генерируемого напряжения), в соответствии с требованиями ГОСТ Р 54149-2010 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения», при переменных, в общем случае, скорости вращения вала ЭМ, а также величине и характере нагрузки переносятся на пре-