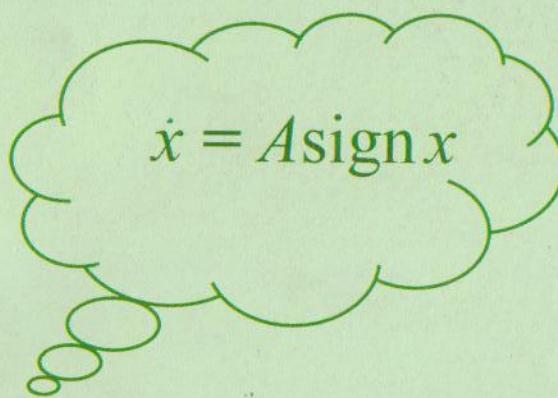


ТРУДЫ
ПЕРВОЙ ТРАДИЦИОННОЙ
ВСЕРОССИЙСКОЙ МОЛОДЕЖНОЙ
ЛЕТНЕЙ ШКОЛЫ
«УПРАВЛЕНИЕ, ИНФОРМАЦИЯ
И ОПТИМИЗАЦИЯ»



Переславль-Залесский, 2009 г.

Учреждение Российской академии наук
Институт проблем управления им В.А. Трапезникова РАН

Национальный комитет по автоматическому управлению

Комитет по образованию Международной федерации
по автоматическому управлению

Академия навигации и управления движением

Институт программных систем РАН – Университет
г. Переславля им. А.К. Айламазяна

**ТРУДЫ
ПЕРВОЙ ТРАДИЦИОННОЙ
ВСЕРОССИЙСКОЙ МОЛОДЕЖНОЙ
ЛЕТНЕЙ ШКОЛЫ
«УПРАВЛЕНИЕ, ИНФОРМАЦИЯ
И ОПТИМИЗАЦИЯ»**

Переславль-Залесский, 2009 г.

Москва 2009

Труды Первой традиционной всероссийской молодежной летней школы «Управление, информация и оптимизация» / Сборник трудов. – М.: ИПУ РАН, 2009. – 160 с. ISBN 978-5-91450-049-5

ОБЩЕЕ РУКОВОДСТВО

Васильев С. Н., академик РАН (Москва, ИПУ РАН)
Куржанский А. Б., академик РАН (Москва, МГУ)

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Председатель: Поляк Б. Т (Москва, ИПУ РАН)
Новиков Д. А. (Москва, ИПУ РАН)
Абрамов С. М. (Переславль, ИПС РАН)
Курдюков А. П. (Москва, ИПУ РАН)
Шербаков П. С. (Москва, ИПУ РАН)
Дигайлова И. А. (Москва, МГУ)
Гурман В. И. (Переславль, ИПС РАН)
Фрадков А. Л. (Санкт-Петербург, ИПМ)
Степанов О. А.(Санкт-Петербург, ЦНИИ Электроприбор)
Лакеев А. В. (Иркутск, ИДСТУ СО РАН)
Маликов А. И. (Казань, КГТУ им. А. Н. Туполева)
Пакшин П. В. (Нижний Новгород, ННГУ)
Пацко В. С (Екатеринбург, ИММ УрО РАН)

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель: Поляк Б. Т.
Ученый секретарь: Грязина Е. Н.
Юмагужина В. Н., Тремба А. А., Стефанюк Е. А.
Ответственный редактор: Петрикевич Я.И.

Сайт Школы в интернете:
<http://sites.google.com/site/traditionalschool/>

Школа проводилась при поддержке
ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры»
РФФИ (грант № 09-08-06804-моб_г)

ISBN 978-5-91450-049-5

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
Зайчикова Н.А. <i>Построение аппроксимирующего сверху дифференциального включения в задаче портфельного анализа.....</i>	11
Чайковский М.М. <i>Редукция анизотропного регулятора методом сбалансированного отсечения.....</i>	16
Минаева Ю.Ю. <i>Оценки множества разрешимости в задаче управления унициклом</i>	18
Мазуров А.Ю. <i>Диссипативность управляемых диффузионных процессов с функцией накопления, чувствительной к рискам, и синтез систем различной структуры</i>	20
Шалымов Д.С. <i>Рандомизированные алгоритмы в задаче кластеризации данных</i>	25
Зыбин Е.Ю. <i>Формула минимальной реализации идентифицируемой модели детерминированной стационарной линейной дискретной системы</i>	32
Гилимьянов Р.Ф. <i>Рекуррентный метод сглаживания кривизны траекторий в задачах планирования пути для колесных роботов</i>	37

Парсегов С.Э. <i>Применение метода наименьших квадратов для синтеза робастных систем.....</i>	133
Резков И.Г. <i>Частотный адаптивный pid-регулятор: экспериментальные исследования.....</i>	140
Ромаев Д.В. <i>Автоматическая система управления вертолетом</i>	147
Торгашов А.Ю. <i>Синтез систем управления в условиях неопределенности для непрерывных химико-технологических объектов</i>	154
Шишкина Е.А. <i>Задачи группового управления при эллипсоидальных ограничениях</i>	157

ВВЕДЕНИЕ

В течение многих лет в России почти не проводились представительные молодежные научные школы ни по оптимизации, ни по автоматическому управлению. Проведенная в 2009 году Первая традиционная всероссийская молодежная летняя Школа «Управление, информация и оптимизация» позволяет говорить о возобновлении традиции, берущей начало от выездной школы-семинара под руководством академика Я. З. Цыпкина. Идея Школы возникла давно; ее поддержали академики С. Н. Васильев и А. Б. Куржанский (сопредседатели Школы); огромную роль сыграла активность молодых организаторов Школы и Оргкомитета (председатель – Б. Т. Поляк, секретарь – Е. Н. Грязина, А. П. Курдюков, П. С. Щербаков, Е. А. Стефанюк, А. А. Тремба). Неоценимую помощь в организации школы оказали сотрудники университета г. Переславля и особенно проректор В. Н. Юмагужина. Приятно было видеть на лекциях студентов университета г. Переславля.

Для чтения лекций на Школе были привлечены известные зарубежные и российские ученые, имеющие успешный опыт длительной работы за рубежом. Это было настоящим подарком для современных аспирантов, из которых мало кто может похвастаться тем, что почти неделю имел возможность близко общаться с такими учеными как А. Л. Фрадков (Институт проблем машиноведения РАН, Санкт-Петербург), В. И. Уткин (Университет Огайо, США), В. Л. Харitonов (Санкт-Петербургский государственный университет), Ю. Е. Нестеров (Католический университет г. Лувен, Бельгия) и М. М. Коган (Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет). Каждый из них подготовил специальный курс из 2-3

ЧАСТОТНЫЙ АДАПТИВНЫЙ ПИД-РЕГУЛЯТОР: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Резков И. Г.

Институт проблем управления
им. В. А. Трапезникова РАН, Москва
аспирант, старший программист
e-mail: fagoth@mail.ru

1. ВВЕДЕНИЕ

В работе представлен частотный адаптивный ПИД регулятор ЧАР-ПИД-1. Регулятор ЧАР-ПИД-1 предназначен для управления объектами первого порядка с запаздыванием, находящимися под воздействием неизвестных внешних возмущений. Внешние возмущения являются неизвестной ограниченной функцией. В алгоритме работы регулятора используется алгоритм конечной частотной идентификации. Этот алгоритм включает в себя активную идентификацию системы сигналом, состоящим из конечного набора гармоник разных частот. Число таких гармоник определяется порядком модели объекта. При изменении коэффициентов объекта система управления сохраняет устойчивость и заданное качество управления. Приведены результаты экспериментальных исследований на имитационном стенде. Объект имитировался промышленным компьютером Athena, регулятор работал на промышленном контроллере WinCon.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Имеется асимптотически устойчивая система управления, описываемая уравнениями:

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

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

$$\varepsilon = y_{sp} - y - v, \quad (3)$$

где $y(t)$ и $u(t)$ – измеряемые выходы объекта (1) и регулятора (2), выход регулятора, $u(t)$ – управление; $y_{sp}(t)$ – измеряемое задающее воздействие; $f(t)$ – неизмеряемое внешнее возмущение. Это неизвестная, ограниченная функция ($|f(t)| \leq f^*$), $\varepsilon(t)$ – идентифицирующий сигнал, который является известной функцией времени; v – ошибка слежения. Коэффициенты объекта (1) ($K^{[i]}, T^{[i]}, \tau^{[i]}$) и регулятора (2) ($k_c^{[i]}, T_i^{[i]}, T_d^{[i]}, g^{[i]}$) – неизвестные числа; i – номер режима работы объекта.

Коэффициенты объекта изменяются в моменты времени t_1, t_2, \dots, t_N и постоянны внутри интервалов времени $t_{i-1} \leq t < t_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots$

Для упрощения моменты времени t_1, t_2, \dots, t_N полагаются известными. Длина интервалов (4) такова, что $t_{i+1} - t_i > t_i^\alpha$ ($i = 2, N-1$), где t_i^α – время адаптации на одном интервале i ($i = 2, N-1$).

Задача состоит в том, чтобы подстраивать параметры регулятора (2) так, чтобы при этом система с изменяющимися параметрами и внешним возмущением оставалась устойчивой.

3. БЛОК-СХЕМА ЧАР-ПИД-1

Блок-схема системы с частотным адаптивным ПИД-регулятором приведена на рис. 1.

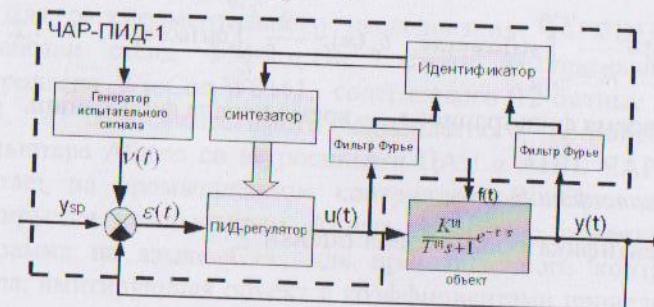


Рис. 1. Блок-схема регулятора

3.1. Генератор испытательного сигнала

Далее в формулах символ $[i]$ опускается для упрощения записи. Испытательный сигнал имеет вид:

$$v(t) = \rho_1 \sin \omega_1 t + \rho_2 \sin \omega_2 t, \\ \omega_1 < \omega_2, \quad i = 1, 2, 3, \dots, \quad (4)$$

где ρ_i и ω_i ($i = \overline{1, 2}$) – положительные числа.

Амплитуды ρ_1 и ρ_2 этого сигнала удовлетворяют условию

$$\rho_1 + \rho_2 \leq \eta y_{sp}^*, \quad (5)$$

в котором y_{sp}^* – известная граница модуля задающего воздействия ($|y_{sp}(t)| \leq y_{sp}^*$); η – заданное положительное число ($\eta < 1$) определяемое допустимым искажением задающего воздействия.

Частоты ω_1 и ω_2 определяются как:

$$\omega_1 = \frac{1}{\hat{T}}, \quad \omega_2 = 2\omega_1, \quad i = 1, 2, 3, \dots, \quad (6)$$

где \hat{T} – оценка постоянной времени объекта.

3.2. Фильтр Фурье

Фильтр Фурье имеет вид:

$$a_{jk}(\alpha) = \frac{2}{\rho_k \alpha} \int_{t_F}^{t_F + \alpha} y(t) \sin \omega_k t dt; \quad a_{ik}(\alpha) = \frac{2}{\rho_k \alpha} \int_{t_F}^{t_F + \alpha} u(t) \sin \omega_k t dt, \\ b_{jk}(\alpha) = \frac{2}{\rho_k \alpha} \int_{t_F}^{t_F + \alpha} y(t) \cos \omega_k t dt; \quad b_{ik}(\alpha) = \frac{2}{\rho_k \alpha} \int_{t_F}^{t_F + \alpha} u(t) \cos \omega_k t dt, \quad k = 1, 2; \quad (7)$$

где α – время фильтрации; t_F – время начала фильтрации.

3.3. Идентификатор

Идентификатор вычисляет оценки

$$\hat{T}^2 = \frac{(\alpha_2^2 + \beta_2^2) - (\alpha_1^2 + \beta_1^2)}{\omega_1^2(\alpha_1^2 + \beta_1^2) - \omega_2^2(\alpha_2^2 + \beta_2^2)}, \quad (8)$$

$$\hat{K}^2 = (\alpha_2^2 + \beta_2^2)(T^2 \omega_2^2 + 1);$$

$$\hat{t} = -\frac{1}{\omega_1} \operatorname{arctg} \frac{\beta_1 + T\alpha_1 \omega_1}{\alpha_1 - T\beta_1 \omega_1}, \quad \omega_1 \hat{t} < \frac{\pi}{2}. \quad (9)$$

3.4. Синтезатор

Синтезатор вычисляет параметры регулятора по формулам:

$$k_c = \frac{2\hat{T} + \hat{t}}{2\hat{K}(\lambda + \hat{t})}, \quad T_i = \frac{2\hat{T} + \hat{t}}{2}, \\ T_d = \frac{\hat{T}\hat{t}}{2\hat{T} + \hat{t}}, \quad g = \frac{\lambda\hat{t}}{2(\lambda + \hat{t})}. \quad (10)$$

Здесь λ – некоторое заданное малое число, определяющее динамику замкнутой системы.

При таком регуляторе, компенсирующем динамические свойства объекта, уравнения системы (1), (2) с высокой степенью точности описываются (при $v = 0$) уравнением:

$$\lambda \dot{y} + y = y_{sp}(t - \tau). \quad (11)$$

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

4.1. Экспериментальный стенд

Для экспериментального исследования ЧАР-ПИД-1 был разработан стенд ФМ-2. Он состоит из промышленного контроллера WinCon W8341, содержащего 12-битные ЦАП и АЦП, и IBM-совместимого одноплатного промышленного компьютера Athena со встроенными ЦАП и АЦП. ЧАР-ПИД-1 работает на промышленном контроллере WinCon, а объект имитируется компьютером Athena. Имитатор объекта – это программа на языке C++, для промышленного контроллера Athena, имитирующая объект с коэффициентами приведенными в таблице 1.

Таблица 1. Параметры объекта

Режим работы	K	T , с	τ , с	Режим работы	K	T , с	τ , с
I	3	5	1	V	5	4	1,5
II	3	4	1,5	VI	5,6	3	1
III	4	5,84	1,7	VII	7,9	2,84	1,2
IV	5	5	2				

Внешнее возмущение $f(t)$ имеет вид:

$$f(t) = 0,3 \operatorname{sign}(\sin(2,1t)). \quad (12)$$

4.2 Эксперимент

В эксперименте объект работает в режимах с I по VII (в соответствии с таблицей 1). Регулятор ЧАР-ПИД-1 работает по блок-схеме, приведенной в разделе 3. Результаты эксперимента приведены на рис. 2-3.

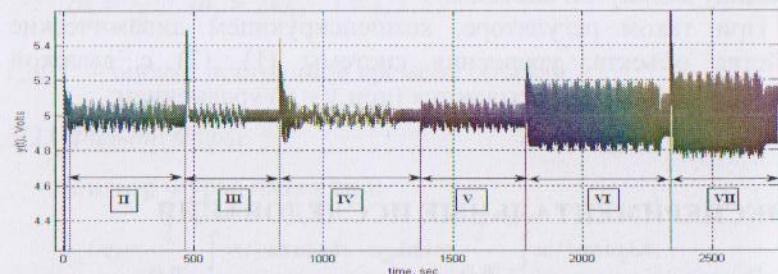


Рис. 2. Выход системы при работе объекта последовательно в режимах с I по VII

и ПАД (статья 21, патенторец. №142377 по СССР) предложен способ определения коэффициентов регулятора ЧАР-ПИД-1 для объекта ЧАР-ПИД в ИДА в ИДА плавкогрева из стали А варочного ковша с помощью дифференциальной модели, в которой коэффициенты регулятора ЧАР-ПИД определяются из условия минимизации суммы квадратов отклонений от заданных значений температуры в различных точках ковша.

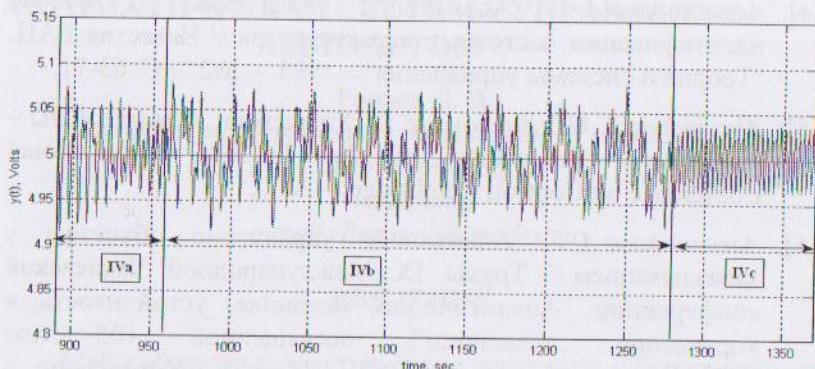


Рис. 3. Переходный процесс в режиме IV

На рис. 3 показано поведение системы в режиме объекта IV более подробно. В секции IVa коэффициенты регулятора те же, что и в режиме объекта III; в части IVb регулятор ЧАР-ПИД-1 производит идентификацию объекта в замкнутой системе; в части IVc регулятор перестроен для режима объекта IV.

Нетрудно видеть, что благодаря адаптации на всех семи режимах объекта сохраняется устойчивость замкнутой системы.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований показали высокую эффективность регулятора ЧАР-ПИД-1.

Список литературы

- [1]. Voda A. A, Landau I. D. A method for the Auto-calibration of PID Controllers // Automatica. – 1995. – Vol. 31, №1. – P. 41-53.
- [2]. Astrom K. J., Hagglund T. Advanced PID Control. – ISA, 2006.
- [3]. Льюнг Л. Идентификация систем: Теория для пользователей. – Москва, «Наука», 1991.

- [4]. Александров А. Г. Адаптивное управление на основе идентификации частотных характеристик // Известия РАН. "Теория и системы управления". – 1995. – №2. – С. 63-71.
- [5]. Alexandrov A. G., Baukova N. G. Frequencial adaptive PDD – controller // Proceedings of the UKACC International Conference on Control, Cambridge. – 2000.
- [6]. 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, Иркутск. –2007. – Том 3 "Управление и оптимизация". – С. 6-13.
- [7]. Visioli A. Improving the load disturbance rejection performance of IMC-tuned PID Controllers // 15th Triennial World Congress Preprints, Barcelona, Spain. – 2002.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВЕРТОЛЕТОМ

Ромаев Д. В.
Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург
аспирант
e-mail: Romaev@yandex.ru

ВВЕДЕНИЕ

Малогабаритные электрические вертолеты с беспроводным пультом управления доступны в специализированных магазинах. Такие вертолеты крайне неустойчивы, постоянная времени бокового канала много меньше 1 секунды. В данной статье показано, что простая система автоматического управления может быть построена на базе широко распространенных моделей электрических моделей вертолетов и с помощью программного обеспечения, установленного на стандартный компьютер. В качестве операционной системы была выбрана Linux. Все алгоритмы были предварительно промоделированы в Matlab, а затем реализованы в виде программы на языке С в режиме реального времени.

ОПИСАНИЕ УСТРОЙСВА

Для экспериментов была выбрана модель электрического вертолета Walkera X450, фотография которого приведена ниже.

Его вес составляет 830 гр. Несущего винта с диаметром 700 мм, оснащен втулкой типа Хиллер с двумя лопастями и двумя сервоплатформами. На пульте управления расположены два джойстика с двумя степенями свободы каждый, следовательно, у вертолета 4 управления. Сила тяги несущего и рулевого винтов управляет при помощи левого джойстика путем изменения угла общего шага несущего и рулевого винтов соответственно. При этом частота вращения несущего винта остается практически постоянной и дрейфует в диапазоне 28-29 Гц. Углы наклона тарелки автомата перекоса управляются