

РЕАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ИСКРИБЕЗОПАСНЫХ КОНТРОЛЛЕРАХ СЕРИИ БАЗИС®

В.Р. Тучинский, И.Н. Андриянов, С.В. Тучинский (ЗАО "Экоресурс")

Представлены функциональные и технические возможности реализации систем автоматического регулирования с помощью контроллеров серии БАЗИС, а также результаты исследований, положенные в основу разработки алгоритмов регулирования и самонастройки.

Ключевые слова: регулирование, регулирующие контроллеры, настройка контура регулирования, интерфейсы пользователя.

При создании АСУТП, осуществляющих поддержание и оперативный контроль технологических режимов, сигнализацию нарушений, противоаварийную защиту и ряд других функций, значительную роль играют задачи регулирования. В программно-технических средствах серии БАЗИС® (разработка и производство ЗАО "Экоресурс", г. Воронеж) возможности построения эффективных контуров регулирования сочетаются в различных вариантах с другими задачами.

Постановка задачи исследования

При разработке контроллеров с функцией регулирования было проведено исследование на основе цифрового моделирования с оптимизацией замкнутых систем регулирования объектов с запаздыванием, которое является важнейшим фактором, влияющим на качество регулирования (аналитический подход к рассмотрению систем с запаздыванием приводит к очень громоздким выражениям). В качестве одной из моделей расчетов использовалось описание, адекватно учитывающее влияние настроек регулятора для широкого круга объектов, в следующем разностном виде:

$$x_{j+1} = e^{-\frac{h_0}{T_{об}}} \cdot x_j + K^{об} \cdot (1 - e^{-\frac{h_0}{T_{об}}}) \cdot \bar{u}_{j-\mu} \quad (j = \mu, \mu + 1, \dots, N) \quad \text{при } j = \mu, \mu + 1, \dots, N, \quad (1)$$

где: h_0, j – величина и номер интервала дискретности моделирования объекта управления; $\mu = \tau_{об}/h_0$ – дискретное запаздывание объекта.

Авторы рассмотрели следующий критерий безусловной оптимизации на основе модуля ошибки регу-

лирования, использующий под интегралом функцию, увеличивающую вес ошибки с увеличением времени:

$$F = h_0 \left[\sum_{j=\mu+1}^{n-1} |\varepsilon_j| + \sum_{j=n}^N (1 + \alpha) \cdot |\varepsilon_j| \right] \rightarrow \min \text{ при } \alpha \geq 0, \quad (2)$$

где: $\varepsilon_j = x^{зад} - x_j$ – ошибка регулирования, n, N – величины, выбираемые в зависимости от характеристик объекта (например, пропорционально чистому запаздыванию).

Критерий (2) позволяет в значительной степени уменьшить колебательность переходного процесса и приблизить систему управления к обеспечению необходимого качества (рис. 1, кривые 3, 4). Критерий (2) эффективен и для ПИД-закона (рис. 1, кривые 1, 2), а также для более сложных законов управления.

Некоторые результаты расчетов

Были выполнены расчеты, использованные при разработке алгоритмов самонастройки. На рис. 2 представлены зависимости показателей качества ПИ-регулирования для объекта с $\tau_{об}/T_{об} = 0,2$ в условиях дрейфа параметров объекта. Настройки задавались оптимальными по критерию (2). Изменение параметров объекта осуществлялось поочередно.

Из рис. 2 видно, что только при изменении коэффициента усиления объекта наблюдается двустороннее увеличение критерия F . Уменьшение $\tau_{об}$ и увеличение $T_{об}$ в определенных пределах практически не приводит к ухудшению качества: в смысле оценки (2) качество улучшается, при этом уменьшается также максимальное отклонение E_{max} (с возможным небольшим увеличением времени регулирования).

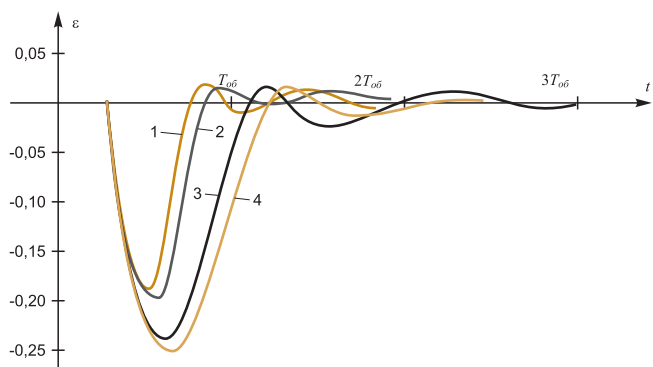


Рис. 1. Оптимальные переходные процессы ПИ- и ПИД-регулирования при $\tau_{об}/T_{об} = 0,2$ по критерию (2): 1) ПИД, $\alpha = 0$; 2) ПИД, $\alpha = 50$; 3) ПИ, $\alpha = 0$; 4) ПИ, $\alpha = 50$

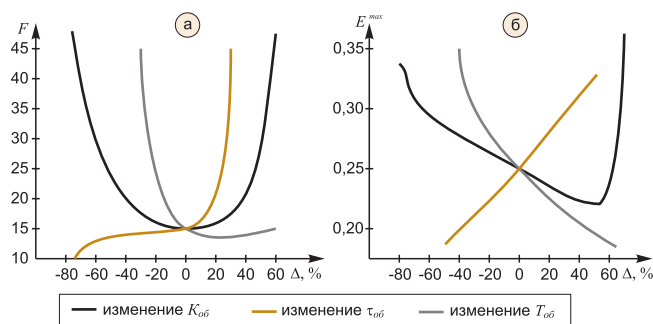


Рис. 2. Зависимости показателей качества регулирования при дрейфе параметров объекта

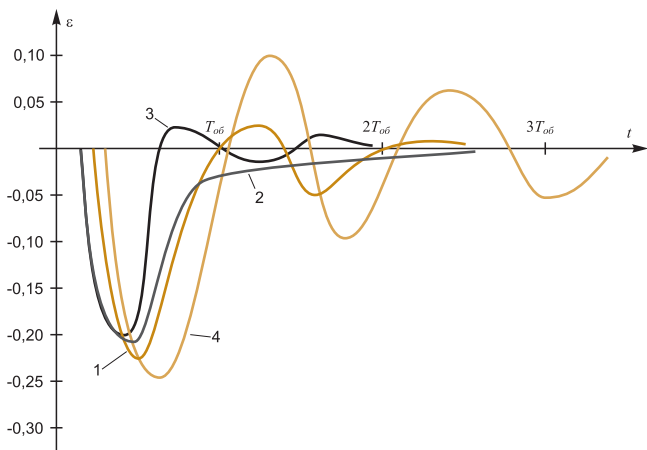


Рис. 3. Переходные процессы при изменении $\tau_{об}$:
 1) $\tau_{об}/T_{об} = 0,2$ (оптимальный); 2) $\tau_{об}/T_{об} = 0,15$ (настройки, оптимальные для $\tau_{об}/T_{об} = 0,2$); 3) $\tau_{об}/T_{об} = 0,25$ (настройки, оптимальные для $\tau_{об}/T_{об} = 0,2$)

На рис. 3 показаны переходные процессы при изменяющемся времени запаздывания того же объекта при настройках, оптимальных для $\tau_{об} = 0,2 \cdot T_{об}$. Уменьшение запаздывания на 25% приводит к переходному процессу (кривая 2), не уступающему по качеству оптимальному. Увеличение запаздывания на 25% без изменения настроек значительно ухудшает качество регулирования за счет повышения колебательности переходного процесса (кривая 3).

Алгоритмы регулирования

На основе обобщения результатов вычислений, выполненных для большого числа различных объектов, структур систем, постановок задач был разработан и реализован в контроллерах серии БАЗИС базовый пакет алгоритмов регулирования.

ПИД-регулятор функционирует по следующей структуре:

$$\bar{U} = k_0 \cdot (k_{П} \cdot \varepsilon + \frac{1}{T_{И}} \cdot \int \varepsilon dt + T_{Д} \cdot \frac{d\varepsilon}{dt}). \quad (3)$$

Кроме основных ПИД-настроек $k_{П}$, $T_{И}$ и $T_{Д}$ используется также настройка k_0 – так называемый коэффициент усиления контура регулирования. Часто (например, при использовании однотипных аппаратов) достаточно выбрать один раз $k_{П}$, $T_{И}$ и $T_{Д}$ и в дальнейшем, при необходимости, подстраивать контур регулирования только коэффициентом k_0 , который компенсирует возможные изменения коэффициента усиления объекта $k_{об}$ со временем. Косвенной характеристикой увеличения коэффициента усиления объекта является увеличение колебательности процесса регулирования. В этом случае k_0 следует уменьшить. Для разных объектов, аналогичных по динамике, настройки $k_{П}$, $T_{И}$ и $T_{Д}$ подбираются также один раз, а подстройка осуществляется одним коэффициентом k_0 .

По динамическим характеристикам непрерывные объекты регулирования химико-технологических и

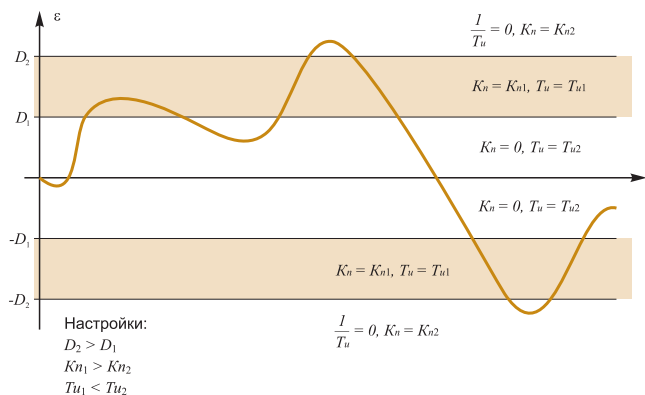


Рис. 4. Работа алгоритма СА-1 (переключение настроек по абсолютному значению ошибки регулирования)

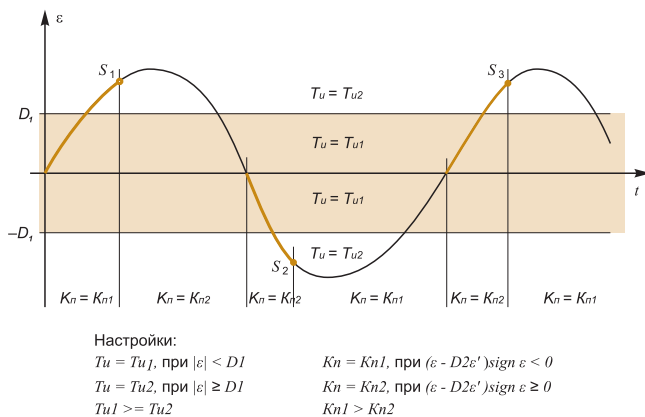


Рис. 5. Работа алгоритма СА-2 (переключение настроек по значению ошибки регулирования и ее производной)

других производств можно условно разбить на три группы.

1. Малоинерционные: расходы, давления, уровни протоя и т.п. Начало реакции на изменение управляющего воздействия в таких случаях обычно не превышает нескольких секунд.

2. Инерционные: температуры, давления и уровни в объемных аппаратах и тому подобное. Начало реакции на изменение управляющего воздействия может достигать десятков секунд.

3. Сложные: инерционные объекты с большим "чистым" запаздыванием, существенными нелинейностями, взаимосвязанностью параметров и другими особенностями. Такие характеристики имеют концентрации продуктов, температуры в сложных аппаратах (пароперегревательных печах, ректификационных колоннах, реакторах) и другие.

Для объектов группы 1, а также большинства объектов группы 2 достаточно использования ПИ-регулятора как наиболее простого, надежного и при этом эффективного закона регулирования.

Следует иметь в виду, что определение производной в промышленных условиях есть весьма сложная и помехоуязвимая задача, и поэтому ПИД-регуляторы целесообразно применять только в тех случаях, когда не удается достичь приемлемого результата с

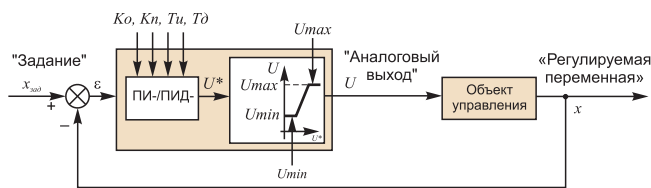


Рис 6. Структурная схема контура регулирования с аналоговым выходом

ПИ-законом. В контроллерах реализованы специальные алгоритмы расчета производной, а также фильтрации.

В базовый пакет включены несколько запатентованных ЗАО "Экоресурс" специальных алгоритмов с переключаемыми настройками ПИ-регулятора, с использованием которых можно эффективно управлять объектами группы 2 и даже частично группы 3 (примеры показаны на рис. 4 и 5).

Контроллеры серии БАЗИС реализуют регулирование с аналоговым и ШИМ выходами, а также с использованием реверсивных исполнительных механизмов (РИМ) (рис. 6 – 8).

Алгоритмы самонастройки

В основу самонастройки положен классический подход определения коэффициентов: контроллер производит скачкообразное изменение управляющего воздействия и снимает кривую переходного процесса (так называемую кривую разгона), затем автоматически производит аппроксимацию полученных данных передаточной функцией первого порядка с "чистым запаздыванием". Известно, что такая аппроксимация и выбор для нее оптимальных настроек дает хорошие результаты для широкого круга объектов.

Перед началом самонастройки объект должен находиться в установившемся состоянии. Для упрощения задачи и повышения надежности результатов

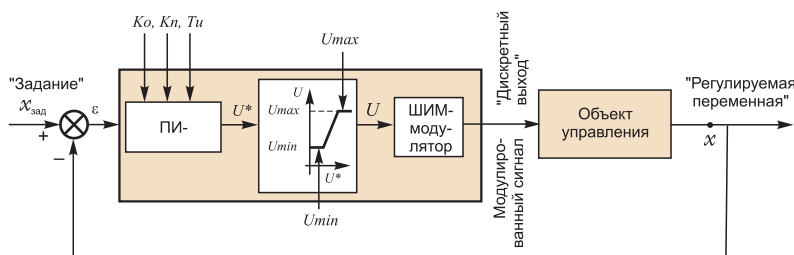


Рис 7. Структурная схема контура регулирования с ШИМ-выходом

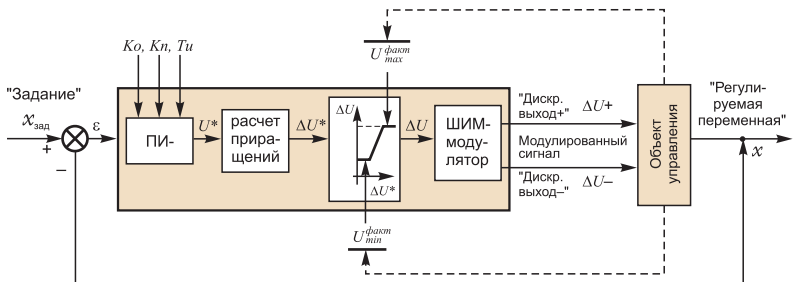


Рис 8. Структурная схема контура регулирования с РИМ

пользователь может задать два значения: величину скачка ΔU по управляющему воздействию (допустимую из технологических условий) и ожидаемую (ориентировочную, с небольшим запасом) длительность $t_{длут}^{max}$ переходного процесса.

Контроллер выдает на объект заданный скачок ΔU , фиксирует и анализирует изменение переменной. На экран выводится текущее время, прошедшее с момента скачкообразного возмущения клапана, и тренд переменной.

Окончание переходного процесса контроллер определяет автоматически по динамике изменения переменной либо принудительно останавливается, если в течение времени $t_{длут}^{max}$, заданной пользователем, окончание не зафиксировано.

После окончания переходного процесса контроллер определяет параметры объекта ($T_{об}, K_{об}, T_{об}, \tau_{об}$) и рекомендуемые (оптимальные по критерию (2)) настройки контура регулирования, которые выводятся на экран.

После визуальной оценки пользователь может сохранить рассчитанные настройки регулирования, далее контур переходит в ручной режим регулирования.

Из-за отличий реальных характеристик объекта и реальных требований к качеству регулирования (быстродействие, колебательность, перерегулирование), помех, погрешностей в технической реализации схемы и т.д. фактическое качество регулирования с рассчитанными настройками может не полностью устраивать пользователя. Подстройку рекомендуется производить коэффициентом k_0 , и лишь при невозможности k_0 и, только если невозможно добиться приемлемого результата, начать подстраивать другие коэффициенты.

Во время выполнения самонастройки, не прерывая ее, допускается переход в режимы управления другими контурами или в другие режимы отображения состояния контроллера. Самонастраиваемый контур (режим "С") в этом случае не может быть переключен в режим регулирования ("Р", "А" или "К"), а возврат в экран самонастройки осуществляется специальной кнопкой.

В любой момент пользователь может прервать самонастройку и выйти из данного режима в режим ручного регулирования простым нажатием кнопки.

Техническая реализация систем регулирования

Основные технические характеристики контроллеров с функцией регулирования представлены в таблице.

Габаритные размеры контроллеров (Ш×В×Д, мм): БАЗИС-12 – 74×156×230; БАЗИС-21 (с ЖКИ 5,5") – 220×156×276; БАЗИС-21 (с ЖКИ 10,4") – 324×200×310. Для работы с системой регулирования

Таблица. Сравнительные технические характеристики типов и исполнений контроллеров серии БАЗИС, реализующих функцию регулирования

Наименование характеристики	Контроллеры серии БАЗИС, реализующие функцию регулирования				
	БАЗИС-12			БАЗИС-21	
	БАЗИС-12.УРС (исполнение регулирование + ПАЗ + сигнализация)	БАЗИС-12.РР (исполнение регулятор двухконтурный)	БАЗИС-12.Р (исполнение регулятор одноконтурный)	БАЗИС-21.ЦУ/ БАЗИС-21.2ЦУ (исполнение ПАЗ + регистратор + регулятор)	БАЗИС-21.РР/ БАЗИС-21.2РР (исполнение регулятор)
Макс. число входных каналов, ед.	12	12	3	56	56
- из них двухпозиционных	12	12	1	56	56
- из них аналоговых	8	8	3	24	24
Макс. число выходных каналов, ед.	12	10	9	43	42
- из них дискретных	10	8	8	35	34
- из них аналоговых	2	2	1	8	8
Тренды:					
- максимальное число, ед.	16	16	3	72	72
- объем памяти, млн. точек	6	6	–	24	24
Макс. число контуров регулирования, ед.	4	4	1	4 / 8	4 / 8
- из них простых	4	4	1	4 / 8	4 / 8
- из них каскадных	2	2	1	4 / 4	4 / 4
Макс. число расчетных каналов (произвольные формулы), ед.	6	6	3	24	24
Масса, кг	2	1	1	5 / 6	5 / 6

реализованы удобные пользовательские интерфейсы на монохромных STN (2,7") и цветных TFT (5,5" и 10,4") ЖК-индикаторах.

Контроллеры серии БАЗИС имеют искробезопасные исполнения уровня [Exia] ПС и эксплуатируются в течение более десяти лет на многих крупных нефтеперерабатывающих и химических предприятиях, производствах минудобрений и в других отраслях промышленности.

Заключение

Контроллеры серии БАЗИС, реализующие функцию регулирования, являются высокотехнологичными ПЛК с хорошо продуманным пользовательским интерфейсом и выполняют широкий набор функций: помимо решения задач непосредственно связанных с регулированием, могут выполнять функции оперативного контроля технологических режимов, регистрации и сигнализации, противоаварийной защиты.

Владимир Рафаилович Тучинский – канд. техн. наук, ген. директор,

Игорь Николаевич Андриянов – канд. техн. наук, начальник отдела документирования и тестирования,

Сергей Владимирович Тучинский – канд. техн. наук, технический директор ЗАО "Экоресурс".

Контактные телефоны/факсы: (4732) 72-78-20, 72-78-21, 72-78-19 (многоканальные).

E-mail: tvr@ecoresurs.ru, igor@ecoresurs.ru, serg@ecoresurs.ru