

АДАПТИВНЫЕ АВТОМАТИЧЕСКИ НАСТРАИВАЮЩИЕСЯ ПРОМЫШЛЕННЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ

А.М. Шубладзе, С.В. Гуляев (ИПУ РАН),
А.А. Шубладзе (ООО "Эколэн")

Рассматриваются адаптивные автоматически настраиваемые линейные ПИД и импульсные промышленные регуляторы, разработанные специалистами ИПУ РАН. Эффективность разработанных алгоритмов автоматической настройки и адаптации линейных регуляторов иллюстрируется примерами сравнения их работы с работой автоматически настраиваемого регулятора E5CN фирмы Omron, а адаптивные возможности – сравнением с работой обычного ПИД-регулятора при управлении объектом с изменяющимися параметрами. Возможности автоматически настраиваемого импульсного регулятора демонстрируются сравнением его работы с работой линейного ПИД-регулятора.

Институтом проблем управления РАН завершена разработка адаптивных автоматически настраиваемых линейных (ПИ, ПД и ПИД) и импульсных промышленных регуляторов. Все перечисленные типы регуляторов при первом пуске автоматически настраиваются путем формирования активных идентифицирующих воздействий и, далее, в режиме нормального функционирования осуществляют подстройку параметров уже без каких-либо воздействий на объект управления, обеспечивая тем самым оптимальность процессов регулирования при всех возможных режимах работы автоматизированного ТП.

Разработанные регуляторы предназначены, прежде всего, для управления динамическими процессами с изменяющимися в широких диапазонах параметрами и подверженными воздействию неконтролируемых постоянно действующих переменных возмущений. Они могут работать с любыми типами пропорциональных или интегральных ИМ, которые оборудованы датчиками положения их исполнительных органов.

В адаптивных автоматически настраиваемых ПИД-регуляторах (ААН ПИД-регуляторах) реализуется способ оптимизации настроечных параметров по критерию максимальной степени устойчивости. Процесс настройки ААН ПИД-регуляторов происходит без участия человека, не требует априорной информации о параметрах объекта регулирования и запускается нажатием кнопки или программным путем. Импульсные автоматически настраиваемые регуляторы (ИАН-регуляторы) предназначены, прежде всего, для управления динамическими процессами, управляющее воздействие в которых реализуется включением на определенное время двигателя, изменяющего положение исполнительного органа запорной арматуры (вентиля, задвижки, клапана и т. д.). При этом частота включений ИАН-регулятором в десятки раз меньше частоты включений линейным ПИД-регулятором.

Рассмотрим вначале работу ААН ПИД-регуляторов. Автоматическая настройка параметров в этих регуляторах происходит всего один раз при первом запуске системы управления и осуществляется в два этапа. На первом этапе система с помощью релейного управления вводится в автоколебательный режим, по параметрам которого грубо определяются статические и динамические параметры ТП. На втором этапе скачкообразным управляющим воздействием инициируется переходной процесс, который позволяет достаточно точно определить параметры модели процесса и далее по критерию максимальной степени устойчивости пересчитать их в оптимальные настройки регулятора. Затем в процессе эксплуатации системы управления подстройка параметров регуляторов происходит пассивным образом без каких-либо воздействий на объект управления за счет адаптивных свойств регулятора.

Первый этап настройки регулятора – режим предварительной идентификации динамических свойств объекта управления используется **только один раз** при первом включении автоматической настройки параметров ААН ПИД-регулятора. Второй этап настройки – режим идентификации предназначен для оценивания параметров модели динамического объекта и инициируется **каждый раз**, когда возникает необходимость в настройке (или перенастройке) динамических параметров ААН ПИД-регулятора. При этом динамическая модель объекта характеризуется параметрами n , T_1 , T_2 и K_0 и имеет вид

$$W(p) = \frac{K_0}{(T_1 p + 1)^n (T_2 p + 1)}, \quad (1)$$

где K_0 – статический коэффициент усиления объекта управления, T_1 , T_2 – постоянные времени инерционных звеньев, n – порядок инерционного звена.

Следует отметить, что приведенная передаточная функция при выборе соответствующих n , T_1 и T_2 достаточно хорошо описывает объекты с чистым запаздыванием и аperiодической динамикой.

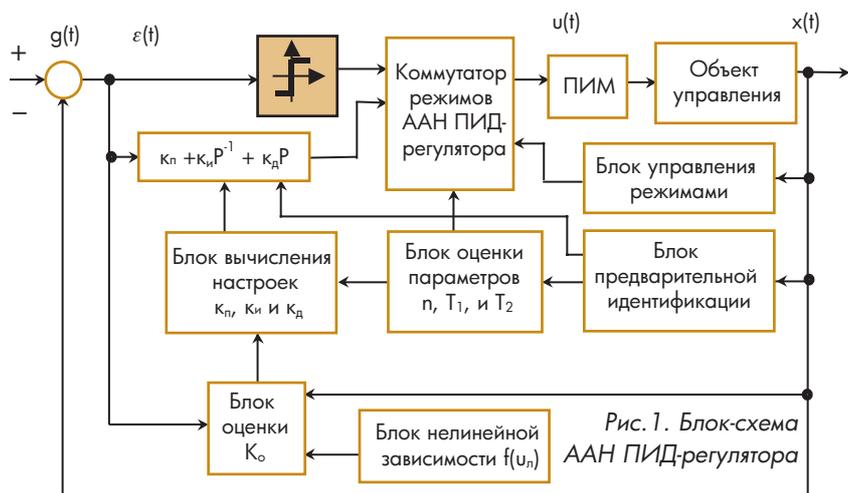


Рис. 1. Блок-схема ААН ПИД-регулятора

Далее вычисляются оптимальные по степени устойчивости настроечные параметры ПИД-регулятора k_n , k_u , и k_d , устанавливающие связь между ошибкой регулирования $\epsilon(t)$ и управляющим сигналом [1, 2]:

$$u(t) = k_n \epsilon(t) + k_u \int_0^t \epsilon(\tau) d\tau + k_d \dot{\epsilon}(t) \quad (2)$$

После вычисления оптимальных настроек ААН ПИД-регулятор переходит в режим ПИД регулирования.

Функциональная схема ААН ПИД-регулятора показана на рис. 1, где $g(t)$ – задающее воздействие, $x(t)$ – выходной сигнал объекта, $\epsilon(t)$ – ошибка регулирования, ПИМ – пропорциональный исполнительный механизм.

В том случае, если в процессе эксплуатации системы управления с ААН ПИД-регулятором возникнет необходимость в перенастройке динамических параметров регулятора, то соответствующей командой инициируется второй этап идентификации. После чего находят новые значения n , T_1 и T_2 , а по ним настройки k_n , k_u , и k_d . Наиболее полно механизм автоматической настройки ААН ПИД-регуляторов описан в [3].

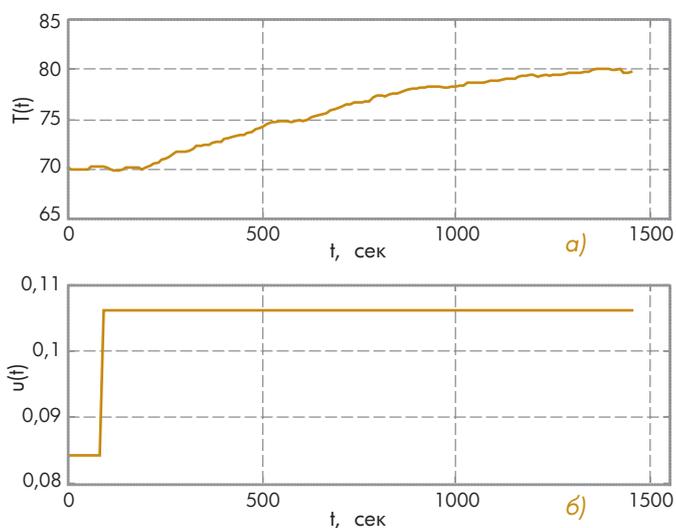


Рис. 2. Переходной процесс: а) в объекте управления; б) при ступенчатом управлении

При работе систем управления чаще всего изменяется $K_o(I)$ и в значительно меньшей степени, и в меньших диапазонах изменяются его динамические параметры n , T_1 и T_2 . Поэтому особый интерес могут представлять промышленные регуляторы, адаптирующиеся к изменениям именно коэффициента $K_o(I)$ без подачи каких-либо активных, идентифицирующих воздействий.

Одним из таких способов адаптации может быть, например, способ, основанный на использовании линейного, динамического преобразования ошибки регулирования $\epsilon(t)$ и нелинейной, статической зависимости выходного, регулируемого параметра $x(t)$ от управляющего сигнала $u(t)$. Нелинейная зависимость определяется характеристиками и спецификой ТП. В общем случае эту зависимость можно записать в виде

$$x_{cm} = f(u_n), \quad (3)$$

где $f(u_n)$ – монотонная функция, задаваемая соответствующим блоком нелинейной зависимости рис. 1 и зависящая от нелинейных свойств объекта. Тогда статический коэффициент передачи объекта управления в любой момент времени будет пропорционален выражению

$$K_o = \frac{k_c df(u_n(t))}{d(u_n(t))}. \quad (4)$$

Проиллюстрируем возможности автоматической настройки и адаптивные свойства ААН ПИД-регулятора в реальной задаче управления тепловым объектом, переходной процесс которого изображен на рис. 2а, ступенчатое управляющее воздействие, вызвавшее этот переходной процесс – на рис. 2б.

Рассмотрим процесс автоматической настройки ААН ПИД-регулятора в системе управления объектом. На рис. 3 показаны переходные процессы в системе

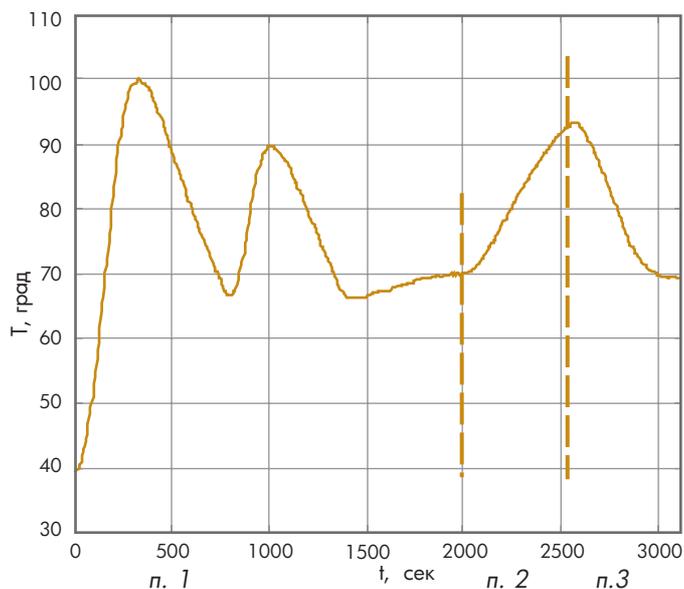


Рис. 3. Этапы автоматической настройки ААН ПИД-регулятора

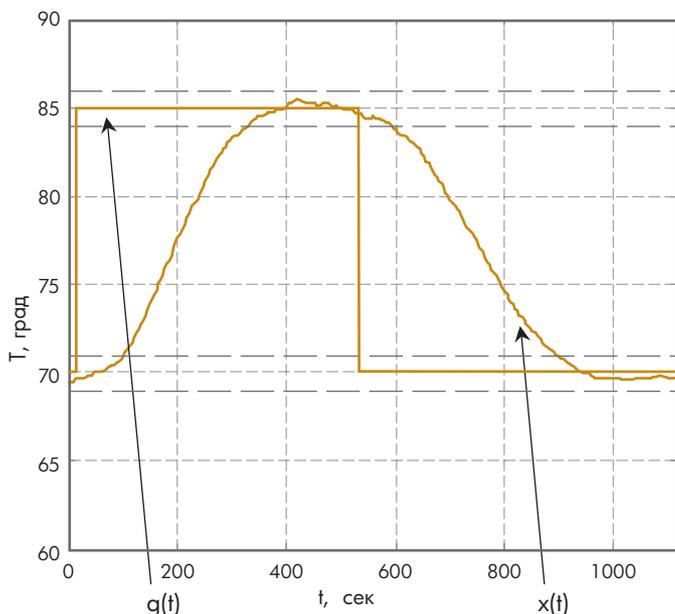


Рис. 4. Переходные процессы в системе управления с ААН ПИД-регулятором

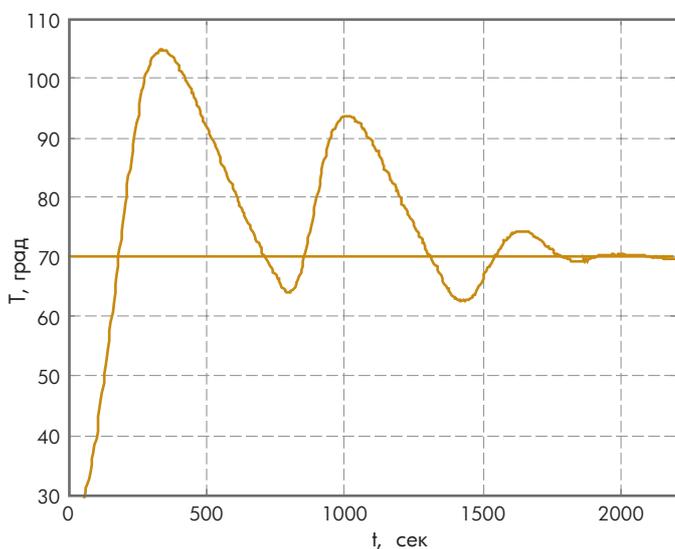


Рис. 5. Этапы автоматической настройки регулятора фирмы Омрон

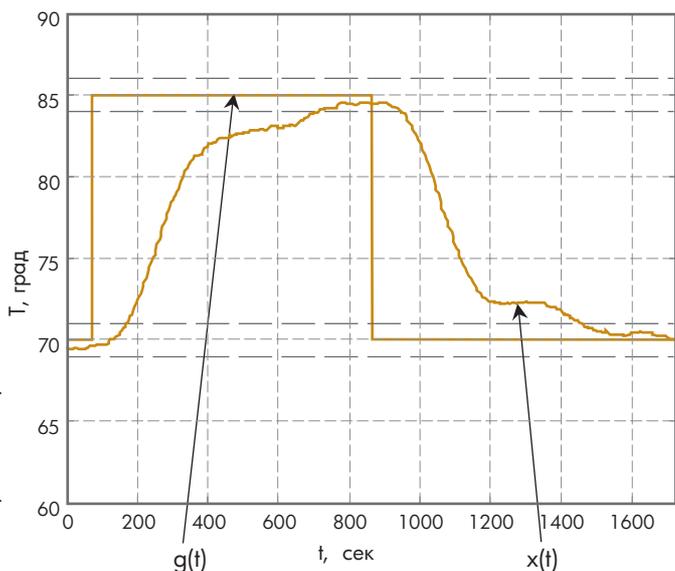


Рис. 6. Переходные процессы в системе управления тепловым объектом с регулятором фирмы Омрон

ме управления с этим регулятором с момента его первого включения. Автоматическая настройка регулятора начинается этапом предварительной идентификации. Температура, с которой начинается этот этап, 40 °С. Как следует из рис. 3, на этапе предварительной идентификации возникает автоколебательный режим, двойная амплитуда установившегося режима которого составляет $2A=23$ °С, а период – $t = 609$ с. Далее определяются предварительные настройки ПИД-регулятора и в течение времени 1350...2000 с происходит стабилизация температуры на уровне 70 °С. На этом заканчивается первая фаза автоматической настройки.

При $t = 2000$ с начинается вторая фаза процесса настройки с формирования ступенчатого воздействия $\Delta u = 0,15$, которое добавляется к выходному сигналу ПИД-регулятора. Величина сигнала управления на протяжении всей второй фазы настройки, т. е. до 2560 с, остается постоянной. В конце этой второй фазы определяются n , T_p , T_2 и K_o и затем оптимальные настройки k_n , k_u и k_o ПИД-регулятора.

На рис. 4 показаны переходные процессы в рассматриваемой оптимальной системе управления при увеличении задающего воздействия $g(t)$ в интервале 70...85 °С при $t = 15$ с и его уменьшения при $t = 550$ с в интервале 85...70 °С.

Для оценки качества полученных в ААН ПИД-регуляторе оптимальных настроек имеет смысл сравнить его работу с работой одного из последних вариантов автоматически настраивающихся регуляторов японской фирмы Омрон – регулятора E5CN.

На рис. 5 показан процесс автоматического определения настроечных параметров в ПИД-регуляторе E5CN в системе управления тепловым процессом (рис. 2), а на рис. 6 – переходные процессы в этой же системе при ступенчатом изменении задания $g(t)$ в интервалах 70...85 °С и 85...70 °С.

Как следует из рис. 5, время автоматической настройки параметров регулятора фирмы Омрон составляет 1700 с. При этом в течение 1350 с система работает в автоколебательном режиме, содержащем два периода колебаний. По периоду и амплитуде второго периода колебаний осуществляется определение настроек ПИД-регулятора. После этого система переходит в режим стабилизации, который заканчивается к 1700 с.

Из рис. 6 следует, что время переходного процесса $x(t)$ при найденных настройках и изменении температуры в интервале 70...90 °С $\pm 5\%$ составляет 620 с, а при обратном изменении температуры: 90...70 °С $\pm 5\%$ $t = 600$ с.

В ААН ПИД-регуляторе двухэтапный процесс идентификации (рис. 3) заканчивается на $t = 2560$ с, при этом длительность второго этапа идентификации составляет 560 с. Этап процесса автоматической настройки в этом регуляторе осуществляется только один раз в момент первого пуска системы управления, а все последующие процессы настройки происходят только по второму этапу и протекают в 2,5 раза быстрее, чем процесс настройки регулятора Омрон.

Показанные на рис. 4 переходные процессы $x(t)$ при переходе $70...85\text{ }^\circ\text{C} \pm 5\%$ протекают в течение 340 с, а при обратном переходе $85...70\text{ }^\circ\text{C} \pm 5\%$ – в течение 360 с.

Сравнивая переходные процессы рис. 4 и 6, можно утверждать, что работа рассмотренной системы управления при автоматически определенных настройках в ААН ПИД-регуляторе обеспечивает аperiodический характер переходных процессов, отличающихся существенно более высоким быстродействием в сравнении с быстродействием автоматически настроенного регулятора фирмы Омрон. Переходные процессы в регуляторе Омрон (рис. 6) носят колебательный характер и не во всех случаях могут удовлетворить требованиям, предъявляемым к работе систем автоматического управления. Отмеченный факт говорит о недостаточно высоком качестве автоматического определения настроечных параметров регулятора по параметрам автоколебательного режима, следствием чего может являться малый запас устойчивости системы управления, что при изменении параметров объекта управления может приводить к потере ее устойчивости.

На рис. 3 показаны возможности автоматической настройки ААН ПИД-регулятора, при этом вторая фаза настройки заканчивается на 2560 с. Далее регулятор переходит в режим работы по ПИД закону регулирования с автоматической коррекцией его общего коэффициента усиления, обратно пропорционального статическому коэффициенту усиления объекта, определяемого формулой (4).

Продemonстрируем адаптивные возможности ААН ПИД-регулятора при управлении тепловым процессом (рис. 2), подверженного воздействию переменного интенсивного возмущения, путем сравнения его работы с работой ПИД-регулятора с постоянными коэффициентами.

На рис. 7 показаны процессы стабилизации температуры и изменения общего коэффициента ААН ПИД-регулятора в зависимости от интенсивности действующих на тепловой объект возмущений: процесс стабилизации температуры на уровне $70\text{ }^\circ\text{C}$ (рис. 7а), изменение во времени коэффициента регулятора (рис. 7б). До $t = 100$ с система работала без воздействия возмущений, и до этого момента общий коэффициент регулятора $k_p(t) = 0,0035$. После 100 с на объект стало действовать возмущение, вызвавшее значительный отбор тепла. Температура упала до $53\text{ }^\circ\text{C}$, после чего стала расти и к 1500 с вышла на заданный уровень. Коэффициент усиления регулятора начал расти, обеспечивая необходимое качество процесса управления, и к 1500 с стал равным 0,0095. При $t = 1900$ с возмущение было снято, температура резко пошла вверх, $k_p(t)$ стал падать, обеспечивая устойчивость процесса, и к 3500 с температура и $k_p(t)$ пришли к исходному состоянию.

На рис. 8 показан тот же температурный процесс, но при постоянном значении $k_p(t) = 0,0105$. Это значение $k_p(t)$ было выбрано из тех соображений, чтобы

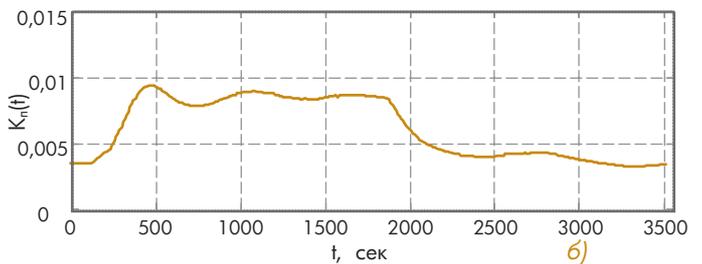
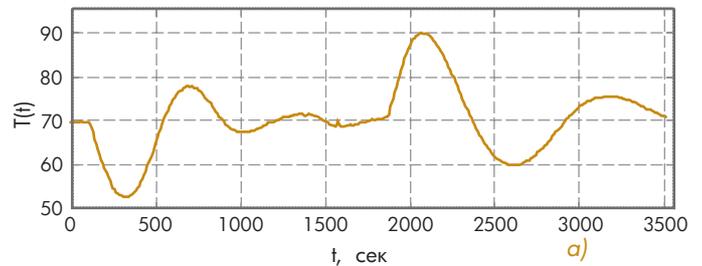


Рис. 7. Процессы стабилизации в системе управления тепловым объектом с ААН ПИД-регулятором при действии переменного возмущения

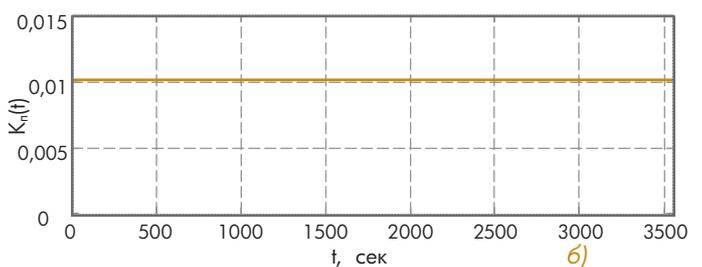
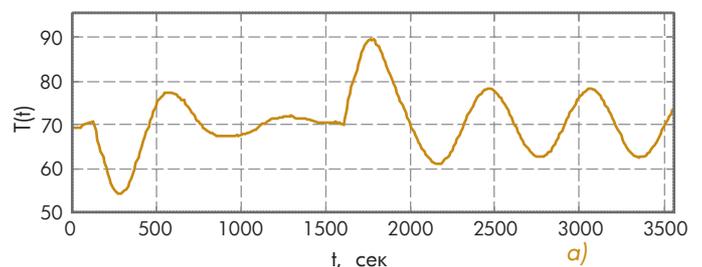


Рис. 8. Процессы стабилизации в системе управления тепловым объектом с обычным ПИД-регулятором при действии переменного возмущения

при действующем уровне возмущения, которое также пришлось на $t = 100$ с, система управления обладала бы приемлемым быстродействием. На 1600 с (рис. 8а) возмущение было снято, температура увеличилась, и возник незатухающий колебательный процесс. Таким образом, представленные на рис. 7 и 8 процессы стабилизации температуры показали, что без непрерывной адаптации система управления не в состоянии обеспечить качество и устойчивость регулирования во всем диапазоне действующих возмущений. Отметим, что рассмотренный выше регулятор E5CN фирмы Омрон указанным свойством не обладает.

Рассмотрим теперь работу ИАН-регулятора и сравним ее с работой ПИД-регулятора при управлении аperiodическим объектом с изменяющимися параметрами. Основные отличия разработанного ИАН-регулятора от широко применяемых в настоящее время ПИ и ПИД-регуляторов состоят в следующем.

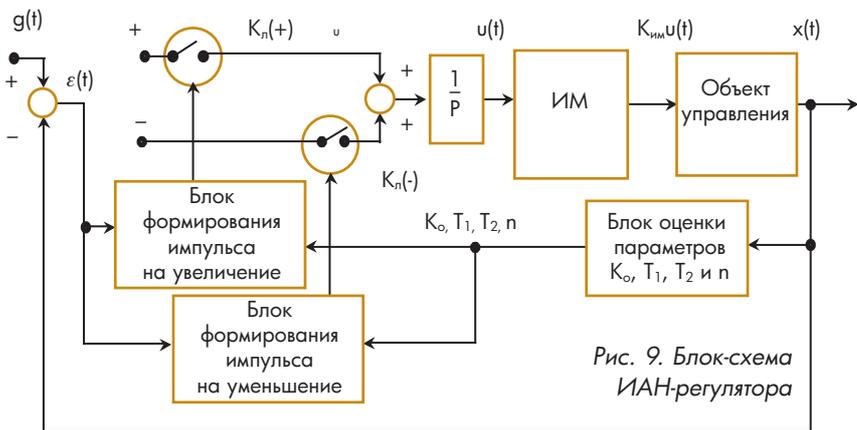


Рис. 9. Блок-схема ИАН-регулятора

нов, что практически всегда приводит к сравнительно быстрому износу этих механизмов. В разработанном ИАН-регуляторе рабочий орган ИМ включается редко на строго фиксированное время, которое необходимо для компенсации ошибки регулирования.

2. Для обеспечения оптимальных по времени процессов регулирования ПИ и ПИД-регуляторами в условиях переменности параметров объектов управления необходима перенастройка параметров этих регуляторов, которая связана с решением в РВ задачи идентификации параметров динамического объекта, что во многих случаях является сложной, а часто и неразрешимой задачей.

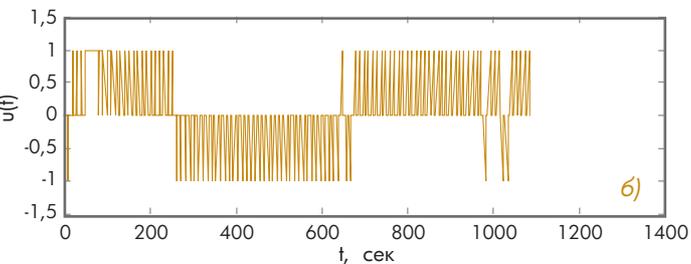
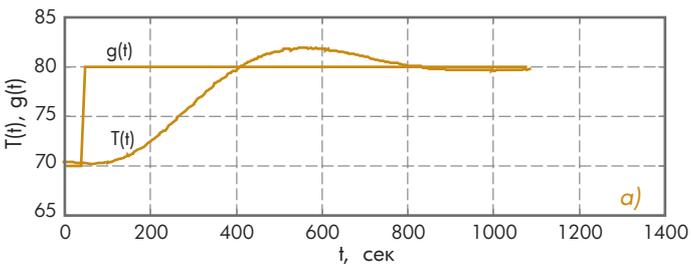


Рис. 10. Переходной процесс: а) с настроенным ПИД-регулятором; б) соответствующее ему управление

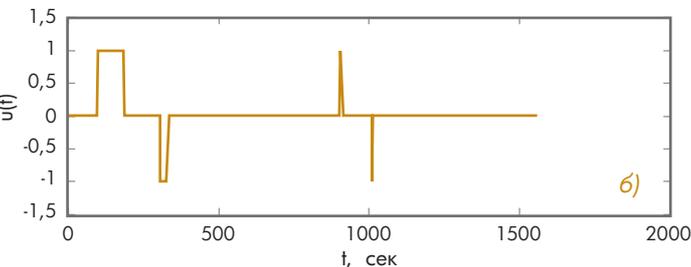
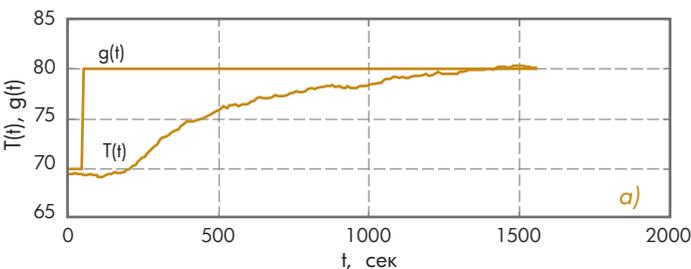


Рис. 11. Переходной процесс: а) с ИАН-регулятором; б) соответствующее ему управление

В импульсном ИАН-регуляторе, период включения управляющих импульсов которого соизмерим со временем переходного процесса в объекте управления, качественно иначе и существенно проще в сравнении с линейным ПИД (ПИ) управлением решается задача идентификации параметров объекта. Это позволяет эффективно и надежно управлять динамическими объектами как с постоянными, так и с переменными параметрами.

Здесь, как и в случае с ААН ПИД-регулятором, предполагается, что объект управления описывается передаточной функцией (1), характеризующейся параметрами K_o, T_p, T_2 и n , ИМ является пропорциональным звеном с коэффициентом передачи $K_{им}$. Входной сигнал ИМ $u(t)$ формируется интегрирующим звеном с помощью импульсов единичной амплитуды и переменной длительности, зависящей от ошибки регулирования $\epsilon(t)$, коэффициента $K_{им}$ и значений параметров объекта K_o, T_p, T_2 и n .

Компенсируется ошибка регулирования $\epsilon(t)$ двумя импульсами включения ключей Кл(+) и Кл(-) — положительным и отрицательным, если $\epsilon(t) > 0$, и наоборот в противном случае. Вычисляется длительность этих импульсов в блоках формирования импульсов на увеличение и уменьшение управления в соответствии с определенными условиями на производную управляющего сигнала $u'(t)$.

$$u'(t) = \begin{cases} \text{sign}\epsilon(0) & \text{при } 0 < t \leq \frac{\kappa_H \epsilon(0)}{K_{им} K_o}, \kappa_H > 1, \\ 0 & \text{при } \frac{\kappa_H \epsilon(0)}{K_{им} K_o} < t < t_{x1}, \\ -\text{sign}\epsilon(0) & \text{при } t_{x1} < t \leq \frac{(\kappa_H - 1)\epsilon(0)}{K_{им} K_o} + t_{x1}, \\ 0 & \text{при } \frac{(\kappa_H - 1)\epsilon(0)}{K_{им} K_o} + t_{x1} < t < t_{пл}, \end{cases} \quad (5)$$

где $\epsilon(0) = g(0) - x(0)$, κ_H — настроечный коэффициент, t_{x1} — момент времени, который определяет выдержку времени между двумя разнополярными импульсами управления [4].

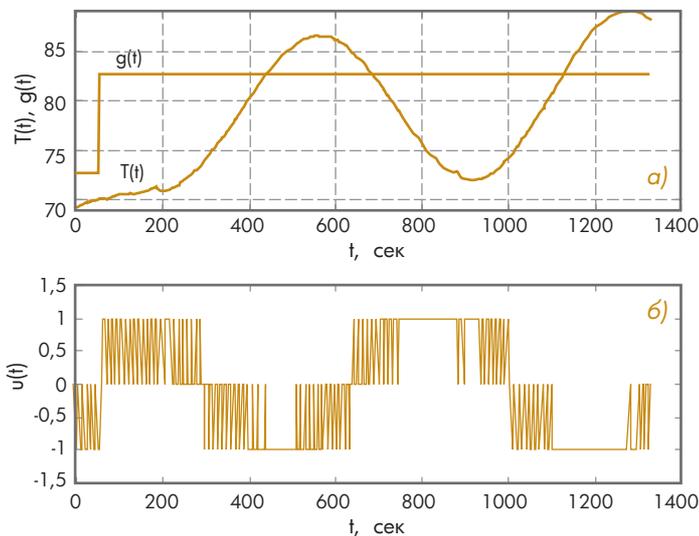


Рис. 12. Переходной процесс с ПИД-регулятором: а) при "замедленном" объекте; б) соответствующее ему управление

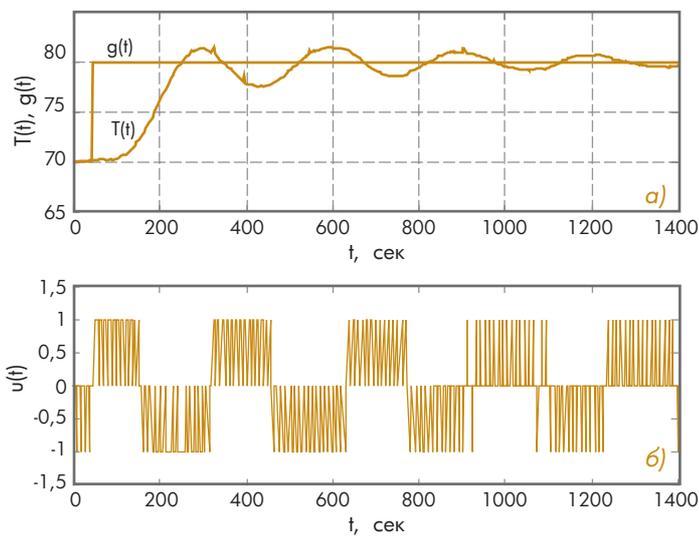


Рис. 14. Переходной процесс с ПИД-регулятором: а) при "ускоренном" объекте; б) соответствующее ему управление

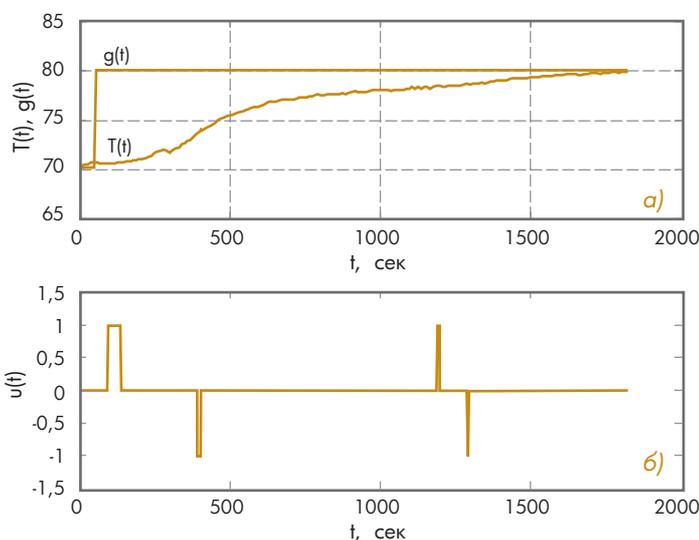


Рис. 13. Переходной процесс с ИАН-регулятором: а) при "замедленном" объекте; б) соответствующее ему управление

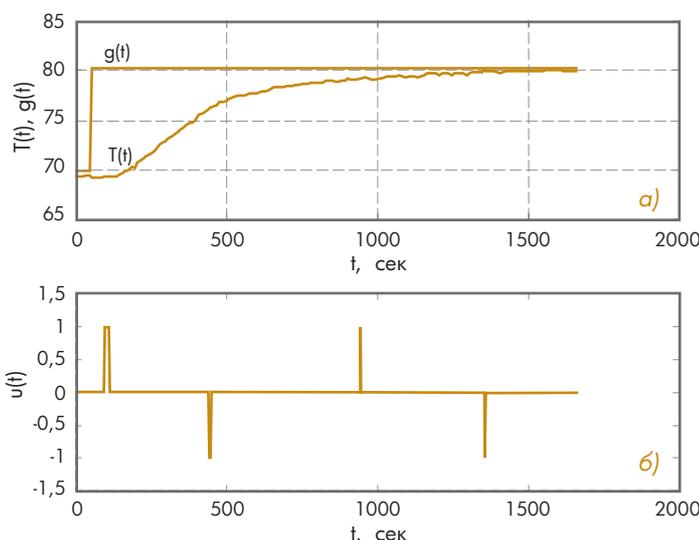


Рис. 15. Переходной процесс с ИАН-регулятором: а) при "ускоренном" объекте; б) соответствующее ему управление

Сравним работу рассматриваемого импульсного ИАН-регулятора (рис. 9) с работой линейного ПИД-регулятора при разных значениях параметров K_o , T_1 , T_2 и n объекта управления, $K_{ин}$ в проведенных ниже экспериментах равнялась 1. ПИД-регулятор, представлявший собой последовательное соединение ПДД-регулятора и интегрирующего звена с постоянной выходной скоростью рабочего органа, был настроен на объект, в котором $K_o = 118$, $T_1 = 14$, $T_2 = 450$ и $n = 4$. Переходной процесс в линейной системе с ПИД-регулятором при изменении температуры в интервале 70...80 °С показан на рис. 10а, выходной управляющий сигнал ПДД составляющей этого регулятора – на рис. 10б. Из рис. 11 следует, что за два разнополярных импульса ИАН-регулятор к $t = 800$ с компенсирует 83% ошибки регулирования. Оставшиеся 17% ошибки компенсируются еще двумя импульсами к $t = 1250$ с. В ПДД составляющей линейного регулятора таких импульсов формируется примерно в 50 раз больше.

На рис. 12, 13 показаны процессы с линейным и импульсным регуляторами при управлении объектом, параметры которого были изменены и стали равными $K_o = 185$, $T_1 = 16$, $T_2 = 450$ и $n = 8$. Настройки регуляторов при этом не изменялись. На рис. 12а показан переходной процесс в системе управления с линейным регулятором, из которого видно, что система стала неустойчивой и фактически потеряла работоспособность. Из рис. 13 следует, что за два разнополярных импульса ИАН-регулятор к $t = 800$ с компенсирует 80% ошибки регулирования. Оставшиеся 20% ошибки компенсируются еще двумя импульсами к $t = 1600$ с, т.е. импульсный ИАН-регулятор в рассмотренном случае сохранил за счет адаптивных свойств не только работоспособность, но и высокое качество процессов регулирования.

На рис. 14 и 15 показаны процессы с линейным и импульсным регуляторами при управлении объектом, параметры которого $K_o = 350$, $T_1 = 8$, $T_2 = 450$

и $n = 3$. Параметры регуляторов при этом также не изменялись. На рис. 14а показан переходной процесс в системе управления с линейным регулятором, из которого видно, что система сохранила устойчивость, но потеряла качество.

Из рис. 15 следует, что за два разнополярных импульса ИАН-регулятор к $t = 800$ с компенсирует 90% ошибки регулирования. Оставшиеся 10% ошибки компенсируются еще двумя импульсами к $t = 1200$ с, т. е. импульсный ИАН-регулятор в рассмотренном случае также сохранил работоспособность и высокое качество процессов регулирования. Все процессы, изображенные на рис. 2–8, 10–15 получены в лабораторных условиях на лабораторной печи малого объема.

Список литературы

1. Шубладзе А.М. Методика расчета оптимальных по степени устойчивости ПИД-законов управления. // АИТ. 1987. №6.
2. Шубладзе А.М. Достаточные условия экстремума в системах максимальной степени устойчивости. I. // Там же. 1997. №3.
3. Шубладзе А.М., Гуляев С.В., Шубладзе А.А. Оптимальные автоматически настраивающиеся общепромышленные регуляторы // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2002. №10.
4. Шубладзе А.М., Гуляев С.В., Шубладзе А.А. Импульсные автоматически настраивающиеся регуляторы (ИАН-регуляторы) // Там же. 2003. №2.

*Шубладзе Александр Михайлович — д-р техн. наук, зав. лаб. 50,
Гуляев Сергей Викторович — канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник ИПУ РАН,
Шубладзе Александр Александрович — зам. директора по техническим вопросам ООО "Эколэн".
E-mail: svgul@ipu.rssi.ru*

ПРИМЕНЕНИЕ ETHERNET В КАЧЕСТВЕ ПОЛЕВОЙ ШИНЫ ФИРМОЙ GE FANUC

В настоящее время активно расширяется применение Ethernet в промышленности как для связи контроллеров и операторских станций между собой, так и в качестве полевой шины для подключения модулей ввода/вывода к ПЛК и хост-компьютерам в задачах непосредственного управления на базе РС (PC-based control).

В продукции GE Fanuc наряду с интерфейсами промышленных сетей, в т. ч. Profibus и DeviceNet, Ethernet интерфейс имеют системы ввода/вывода VersaMax и VersaPoint.

Семейство продуктов VersaMax обеспечивает как построение каналов ввода/вывода для систем на базе ПЛК и РС, так и построение функционально законченных контроллеров, имеющих собственный центральный процессор. Модульная структура и обширный ассортимент модулей обеспечивают необходимую гибкость при построении систем. Модули VersaMax монтируются в индивидуальные шасси, устанавливаемые на DIN-рельс. Все внешние подключения осуществляются на клеммниках, входящих в состав

шасси. Для повышения готовности оборудования и сокращения среднего времени ремонта (MTTR) конструкция шасси и модулей предусматривает горячую замену модулей без остановки контроллера.

Работу в сети Ethernet поддерживают два продукта VersaMax - центральный процессор ПЛК IC200CPU005, используемый для построения ПЛК VersaMax, и модуль интерфейса полевой шины IC200EBI001, используемый для построения станций ввода/вывода VersaMax.

Семейство продуктов VersaPoint предназначено для построения систем ввода/вывода. Его отличает широкая номенклатура модулей ввода/вывода, имеющих небольшое число каналов (1...16), что позволяет создавать системы управления строго в соответствии с поставленной задачей, избегая затрат на избыточные неиспользуемые каналы ввода/вывода в модулях, рассчитанных на большее число каналов. Наряду с обычными аналоговыми и дискретными модулями ввода/вывода выпускаются модули управления электродвигателями, поддерживающие непосредственное подключение с реверсированием трехфазных двигателей мощностью до 1,5 кВт и без реверсирования до 3,7 кВт. В перспективе выпуск модулей с клапанами для переключения подачи сжатого воздуха и управления пневматикой. Модули VersaPoint монтируются на DIN-рельс.

Модуль VersaPoint интерфейса с шиной Ethernet обеспечивает как автоматическую конфигурацию каналов ввода/вывода, так и загрузку конфигурации от хост-процессора. Он имеет встроенный web-интерфейс, обеспечивающий диагностику и мониторинг станции ввода/вывода VersaPoint. Web-интерфейс обеспечивает также конфигурирование станции, предоставляет справочную информацию.

Системы ввода/вывода VersaMax и VersaPoint могут быть отконфигурованы на использование протокола Modbus TCP по шине Ethernet, что позволяет использовать их с хост-системами различных изготовителей. Для построения РС-совместимых систем GE Fanuc предлагает программный продукт Simplicity Machine Edition.

Системы ввода/вывода VersaMax и VersaPoint могут быть отконфигурованы на использование протокола Modbus TCP по шине Ethernet, что позволяет использовать их с хост-системами различных изготовителей. Для построения РС-совместимых систем GE Fanuc предлагает программный продукт Simplicity Machine Edition.

*Материал предоставлен фирмой Advantek Engineering.
Контактный телефон (095) 135-42-81.*