

УДК 681.513.682

Реализация беспоисковой самонастраивающейся системы автоматического управления

А.В. Кондрашин, В.С. Карасев

ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», Иваново, Россия
E-mail: kav@dsn.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: Динамика промышленного внедрения адаптивных систем существенно отстает от возможностей, представленных в научных публикациях. Во многих случаях это объясняется сложностью алгоритмов, реализующих явно выраженные процедуры идентификации объекта.

Материалы и методы: Предлагаемые авторские решения основаны на наблюдении свойств только одного процесса – сигнала по ошибке управления. Это существенно снижает требования к ресурсам программно-технических комплексов.

Результаты: Приведено концептуальное описание специфики задачи адаптивного управления теплоэнергетическими объектами. Известные авторские решения модифицированы с учетом возможностей современной микропроцессорной техники в оценке инерционности объекта. Проведен имитационный эксперимент, сопоставляющий качество управления в традиционной и адаптивной системах в условиях изменяющихся характеристик объекта управления и действующих на него возмущений.

Выводы: Подтвержден ожидавшийся эффект существенного повышения качества управления. Показана возможность реального повышения эффективности систем автоматического регулирования заданным классом объектов.

Ключевые слова: адаптивная система, беспоисковая самонастраивающаяся система, параметрическая подстройка, оценка инерционности объекта.

IMPLEMENTATION OF SEARCHLESS ADAPTIVE AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS

A.V. KONDRASHIN, V.S. KARASYOV

Ivanovo State Power Engineering University, Ivanovo, Russia
E-mail: kav@dsn.ru

Abstract

Background: Adaptive control system commercialization lags behind the scientific papers considerably. Frequently it is due to complexity of identification of algorithms.

Materials and methods: The suggested task solutions are based on the idea of monitoring of control errors only. That brings down considerably specifications of the program-technical complexes.

Results: The conceptual description of the power heat processes control is presented. The known author's algorithms of the control object inertia estimations are modified taking into consideration the possibilities of the up to date microprocessors. The qualities of the traditional and adaptive control systems are compared by special simulation experiment.

Conclusions: The expected effects of the essential improvements are confirmed. The fundamental and technical possibilities of the enhancement of control systems efficiency are shown.

Key words: adaptive control, searchless adaptive system, parametric adjustment, object inertia estimation.

Создание и совершенствование систем автоматизации является одной из важных проблем, решение которой во многом определяет уровень развития науки и техники. Поэтому задача создания качественно новых систем автоматизации, обеспечивающих высокую точность управления и адаптации, является актуальной. С ужесточением условий эксплуатации систем управления выдвигаются дополнительные требования к их качественным показателям.

Условия работы реальных систем управления часто таковы, что динамические характеристики объекта и свойства действующих на него возмущений либо известны неточно, либо непредсказуемо и существенно изменяются во времени. Определенным случайным изменениям могут быть подвержены также па-

раметры самих систем управления, особенно аналоговых. Поэтому качество работы системы управления, спроектированной в расчете на неизменяющиеся условия работы, на практике может оказаться существенно ниже ожидаемого.

Одним из главных путей повышения качества работы промышленных автоматических систем регулирования (АСР) является разработка и внедрение адаптивных регуляторов, параметры или даже структура которых при изменении внешних условий автоматически изменяются, поддерживая тем самым близкий к оптимальному режим работы. Вопросами разработки таких АСР в последние годы занимаются большое количество НИИ, вузов, а также специализированных фирм и организаций (ИПУ РАН, МЭИ, МГТУ, ИГЭУ, «ТЕКОН»,

«ТЕХНОКОНТ», «КРУГ» и др.). Достаточно полную классификацию и обстоятельный обзор таких систем можно найти в работах [1, 2, 3].

Широко внедряемые в практику управления техническими системами современные информационные технологии позволяют существенно продвинуть идеи адаптивного управления. Снимаются ограничения на сложность и функциональное наполнение алгоритмов, появляется возможность синтеза оптимальных регуляторов для многомерных объектов управления. Вполне уместным можно считать использование композиционных алгоритмов, наследующих лучшие свойства алгоритмов узкого класса. Более реальной становится перспектива применения самообучающихся систем, в том числе и нейросетей.

Наряду с адаптивными системами, реализующими алгоритмы общего назначения, заслуживают внимания и системы, учитывающие прикладную особенность технологических процессов.

Примером такой подхода может быть самонастраивающаяся система, описанная в [4] и развивающая идеи, предложенные в работах [5, 6]. Начальное состояние системы управления с ПИ-регулятором обеспечивается в процессе наладки системы при вводе в эксплуатацию. Характерные в реальных нестационарных условиях изменения свойств объекта учитываются встроенными в систему возможностями автоматической коррекции параметров ПИД-регулятора по оперативной информации об ошибке управления ε (рис. 1). В частности, методы обработки случайных процессов позволяют в режиме реального времени отслеживать изменения таких характерных

свойств сигнала ошибки управления, как средняя частота ω_{cp} и средняя амплитуда колебаний A_{cp} , а также значение эквивалентной степени затухания ψ_z , оценивающей запас устойчивости системы. Принимается во внимание, что темп изменения этих характеристик достаточно мал для эффективного разделения процессов координатного и параметрического управлений. Совокупность такой информации в полной мере обеспечивает возможность обоснованного изменения параметров регулятора.

Структура такой самонастраивающейся системы представлена на рис. 1.

При фиксированных свойствах регулятора изменение средней частоты процесса ω_{cp} связано с изменением инерционности объекта, оцениваемым показателем, аналогичным масштабу времени. Это позволяет применить этот показатель, прежде всего, для адекватного изменения постоянных времени интегрирования T_i и дифференцирования T_d в ПИД-алгоритме регулятора (при сохранении значения коэффициента предвращения $\alpha = T_d / T_i$).

Все исследования проводились на виртуальном стенде, имеющем все необходимые имитационные возможности. Часть стенда, связанная с задачей моделирования объекта управления с переменной динамикой, схематически представлена на рис. 2.

Тестовый случайный сигнал формировался генератором белого шума (с нормализацией процессов). Необходимые частотные свойства обеспечивались формирующим фильтром.

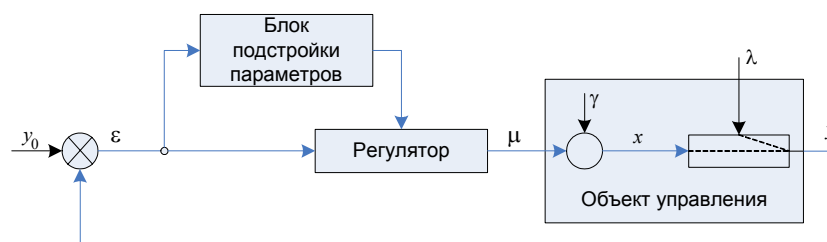


Рис. 1. Исходная (общая) структура системы

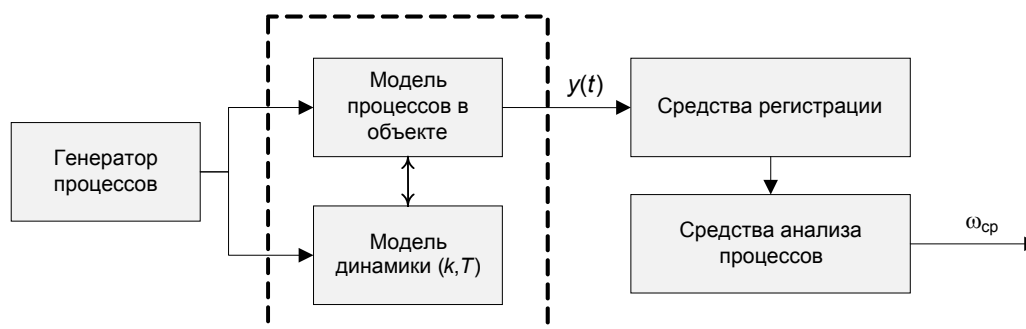


Рис. 2. Структура фрагмента стенда с моделью объекта

Объект управления был смоделирован инерционным звеном второго порядка:

$$W_o(s) = \frac{1}{(Ts + 1)(0,5Ts + 1)}.$$

Такой тип модели обладает важным для практики качеством – дифференцируемостью переходной функции. Имитационный эксперимент был разбит на три последовательных этапа.

Задача *первого этапа* – проверка работоспособности и предварительная параметрическая настройка online-алгоритмов обработки случайных процессов, обеспечивающих необходимую фильтрацию и оценку средней частоты случайного процесса ω_{cp} в разомкнутой системе, представленной моделью объекта управления $W_o(s)$.

Значение постоянной времени объекта T в расчете носило относительный характер, согласующийся с частотными свойствами входного случайного процесса, и изменялось дискретно с шагом, равным 1. На рис. 3 функция $\omega_{cp} = f(T)$ представлена как теоретическим (расчетным), так и экспериментальным вариантами.

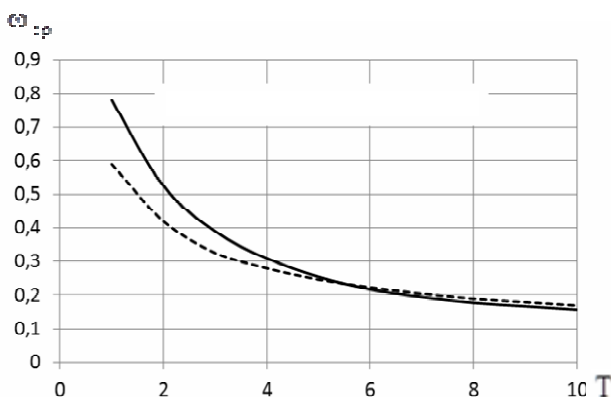


Рис. 3. Зависимость средней частоты процесса на выходе объекта от его постоянной времени: ——— – расчет; - - - - - – эксперимент

Их сравнение позволяет сделать следующие выводы:

- использованные в эксперименте online-алгоритмы эффективны;
- при $T \geq 4$ функции практически совпадают;
- в области малых значений T наблюдается некоторое завышение значения средней частоты, являющееся естественным следствием влияния обязательной процедуры сглаживания исходного процесса.

Таким образом, полученные на первом этапе результаты подтвердили ожидаемый эффект и дали основания для перехода ко *второму этапу* – проверке возможности применения алгоритмов оценки ω_{cp} в замкнутой системе управления. Определенное опасение было связано с наличием в замкнутой АСР резонансной частоты, оказывающей существен-

ное влияние на процесс фильтрации случайных процессов. С другой стороны, именно доступ к оценке этой частоты и является главной особенностью предлагаемого подхода, так как регулятор в астатической системе практически полностью подавляет процессы на низких частотах, а объект – на высоких. В ходе имитационных экспериментов с замкнутой системой с ПИ-регулятором была получена зависимость ω_{cp} от T , представленная на рис. 4.

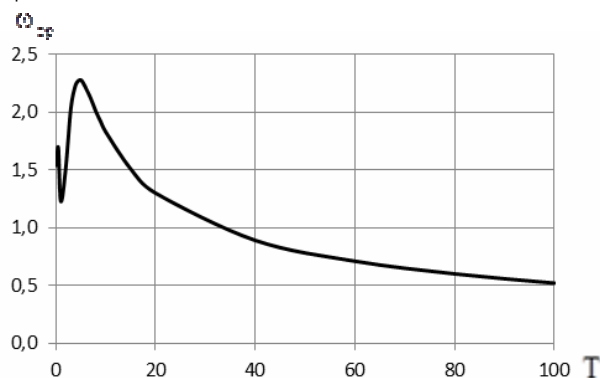


Рис. 4. Зависимость средней частоты сигнала по ошибке управления АСР от постоянной времени объекта

Анализ полученной зависимости подтверждает факт ожидавшейся связанности свойств ошибки управления со свойствами объекта. Однако при этом проявились и некоторые особенности, связанные со спецификой алгоритмов оценки значения ω_{cp} . В частности, обращает на себя внимание начальная область этой функции, отличающаяся неустановившимся характером связи с параметром инерционности T . Это можно объяснить соизмеримостью длины интервала, определяющего массив значений обрабатываемой части сигнала ошибки управления $\varepsilon(t)$, с периодом, соответствующим резонансной частоте системы. Можно отметить, что, как и в варианте с разомкнутой системой, нарушение ожидавшейся закономерности происходит в области значений $T < 4$. Это обстоятельство должно быть принято во внимание в процессе настройки системы, требующей естественного разделения частот основного и параметрического контуров (см. рис.1).

В ходе *третьего этапа* значение постоянной времени T было не постоянным, а изменялось по синусоидальному закону:

$$T(t) = T_0 + A_T \sin(\omega_T t).$$

Это вызывало естественные изменения в значении резонансной частоты системы, оцениваемой через среднюю частоту сигнала по ошибке управления. Пример, иллюстрирующий возможность оперативного наблюдения постоянной времени объекта $\tilde{T}(t)$ по результатам расчета средней частоты $\omega_{cp}(t)$ процесса $\varepsilon(t)$, представлен на рис. 5. Для удобства анализа обе функции были приведены к относительному виду:

$$\frac{T(t)}{T_0} = 1 + \frac{A_T}{T_0} \sin(\omega_T t).$$

Анализ графиков (рис. 5) показывает, что при изменении постоянной времени объекта по синусоиде величина, обратная средней частоте, также пропорционально изменяется по синусоиде, но с запаздыванием, объясняющимся необходимостью предварительной буферизации массива исходных данных.

Увеличение размер буфера, с одной стороны, повышает точность оценки средней частоты (с увеличением достоверность возрастает), а с другой – вызывает задержку во времени. Возникает необходимость компромисса между точностью и запаздыванием расчета. Однако специфика теплоэнергетических объектов такова, что изменения в самом объекте, связанные с изменением его постоянной времени, достаточно инерционны. Это позволяет считать несущественным эффект смещения во времени расчетного показателя процесса.

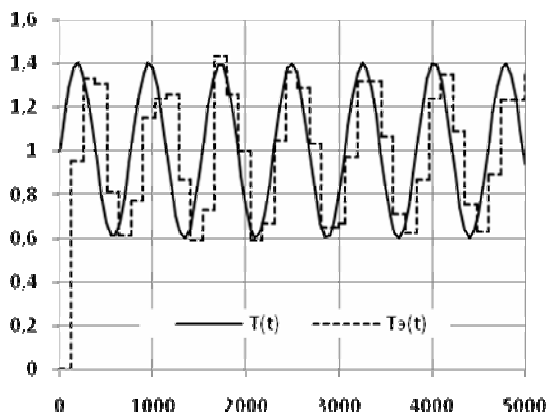


Рис. 5. Графики изменений постоянной времени объекта (гладкая функция) и ее экспериментальной оценки (ступенчатая функция)

На основании результатов предварительных исследований был реализован блок подстройки параметров регулятора, отслеживающий отклонения средней частоты от своего базового значения (соответствующего начальному этапу работы системы) и приводящий ему в соответствие значение постоянной интегрирования $T_{и}$ регулятора.

Известно, что нарушение баланса между T и $T_{и}$ может привести к изменению запаса устойчивости системы. Поэтому для оценки эффективности адаптации было решено использовать традиционный показатель – степень затухания процессов ψ . Специфика оценки заключалась в том, что анализу подвергались не детерминированные, а случайные процессы.

Поэтому для оценки ψ было решено использовать особенности корреляционной функции ошибки управления.

В ходе эксперимента изменялась постоянная времени объекта T_0 и наблюдалась эквивалентная степень затухания ψ . Результаты эксперимента представлены на рис. 6. Анализ графиков (рис. 6) показывает, что при увеличении постоянной времени объекта в системе без параметрической подстройки степень затухания процесса (запас устойчивости) существенно уменьшается (практически приводит к потере устойчивости), а в системе с подстройкой, благодаря параметрическому контуру, требуемая степень затухания сохраняется. Это подтверждает ожидаемый эффект предлагаемого способа коррекции и открывает возможность его промышленной апробации.

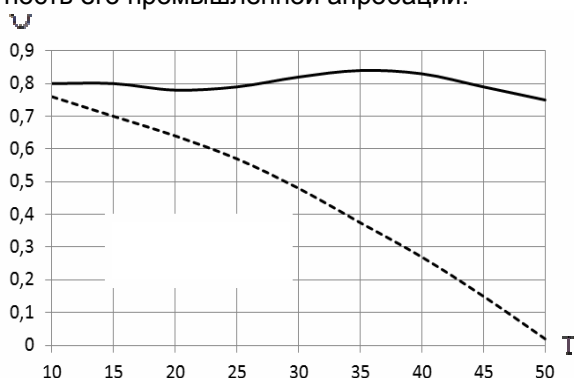


Рис. 6. Зависимость оценки эквивалентной степени затухания от постоянной времени объекта: — с адаптацией; - - - - без адаптации

Изменения в объекте, связанные со случайными изменениями его коэффициента усиления, также нашли свое место в исследованиях. Их результаты послужат основанием для отдельной публикации, дополняющей настоящую работу.

На рис. 7 показана принципиальная схема реализованной адаптивной системы управления, где, в отличие от рис. 1, явно выделена сущность параметрического управления, подчиненная задаче стабилизации запаса устойчивости, выраженного заданным значением эквивалентной степени затухания процессов ψ_0 .

Стоит заметить, что приведенные выше результаты исследований являются логическим продолжением работ [4–6], инициированным новыми возможностями современной микропроцессорной техники.

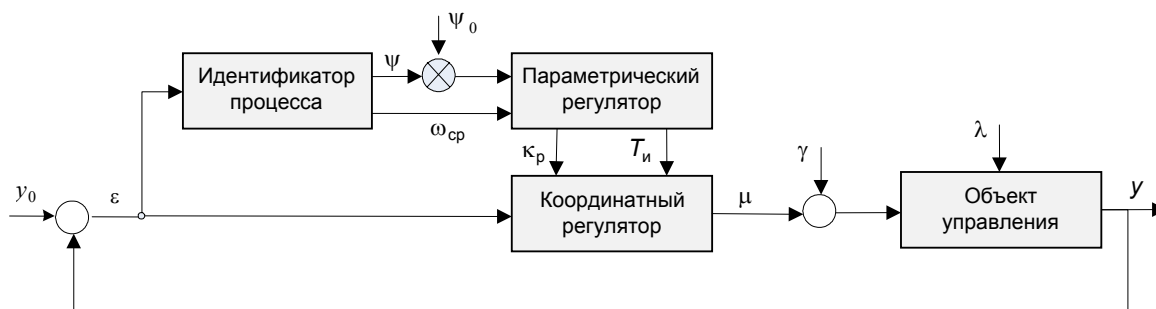


Рис. 7. Развернутая структура адаптивной системы

Заключение

Реализованный алгоритм беспойсковой самонастраивающейся системы обеспечивает стабилизацию степени затухания на заданном уровне в условиях изменяющихся характеристик объекта и действующих на него возмущений.

Список литературы

1. **Автоматизация** настройки систем управления / В.Я. Ротач, А.С. Клюев и др.; под ред. В.Я. Ротача. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 272 с.
2. **Тюкин И.Ю., Терехов В.А.** Адаптация в нелинейных динамических системах. – СПб.: ЛКИ, 2008. – 384 с.
3. **Денисенко В.В.** ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации // Современные технологии автоматизации. – 2006. – № 4. – С. 66–74; 2007. – № 1. – С. 78–88.
4. **Кондрашин А.В.** Беспойсковые самонастраивающиеся системы автоматического управления и перспекти-

вы их применения в теплоэнергетике // Автоматизация производства. – 2001. – № 4. – С. 1–10.

5. **А. с. № 630612.** Импульсный регулятор / В.В. Белов, А.В. Кондрашин, В.Н. Гушло; 1978. Бюл. № 40.
6. **А. с. №744438.** Импульсный регулятор / В.В. Белов, А.В. Кондрашин; 1980. Бюл. № 24.

References

1. **Rotach, V.Ya., Klyuev, A.S.** Avtomatizatsiya nastroyki system upravleniya [Automation setting of control systems], Moscow: Energoatomizdat, 1984, 272 p.
2. **Tyukin, I.Yu., Terekhov, V.A.** Adaptatsiya v nelineynykh dinamicheskikh sistemakh [Adaptation in nonlinear dynamic systems], Sankt-Petersburg: LKI, 2008, 384 p.
3. **Denisenko, V.V.** *Sovremennye tekhnologii avtomatizatsii*, 2006, 4, pp. 66–74; 2007, 1, pp. 78–88.
4. **Kondrashin, A.V.** *Avtomatizatsiya proizvodstva*, 2001, 4, pp. 1–10.
5. **Belov, V.V., Kondrashin, A.V., Gushlo, V.N.** Impul'snyy regulyator [Pulse-type regulator], AS № 630612.
6. **Belov, V.V., Kondrashin, A.V.** Impul'snyy regulyator [Pulse-type regulator], AS №744438.

Кондрашин Анатолий Васильевич,
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
кандидат технических наук, профессор кафедры автоматизации технологических процессов,
телефон (4932) 38-53-10,
e-mail: kav@dsn.ru

Карасев Виктор Сергеевич,
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
аспирант кафедры автоматизации технологических процессов,
e-mail: karvik1987@mail.ru