

Андрей Репин, (ООО “Энергоавтоматика”, Москва)
Алексей Максимов, (Промэлектроника, Москва)
Николай Смирнов, Владимир Сабанин, Елена Бочкарева (МЭИ, Москва)

111024, Москва, 2-я кабельная, 2, строение 9

Тел./факс: +7(495) 974-1295 (доб. 1024)

E-mail: repin@intma.ru,

www.intma.ru

Идентификация и адаптация автоматических систем регулирования с использованием имитационных моделей

Рассматривается способ реализации адаптивной системы автоматического регулирования (САР) на основе активной идентификации с использованием имитационного моделирования и авторской версии эволюционного алгоритма оптимизации “Optim-MGA”. Идентификация и адаптация иллюстрируются на примере одноконтурной системы регулирования с ПИД регулятором, реализующим реальное дифференцирование.

Трудно прогнозируемое изменение динамических характеристик промышленных объектов в процессе их функционирования снижает эффективность использования традиционных методов автоматического регулирования и делает первоначально настроенный автоматический регулятор в лучшем случае не оптимальным, а в худшем случае не работоспособным. В связи с этим вполне закономерен интерес к разработке и внедрению алгоритмов адаптации [1].

Большинство существующих способов адаптивного управления предполагают наличие адекватного математического описания объекта регулирования и построенной на его основе имитационной модели системы [2].

Авторы в своем докладе развивают именно это направление с использованием опыта, накопленного в работах по имитационному моделированию и применению численных методов оптимизации для решения задач идентификации и оперативной настройки регуляторов. Предлагаемый подход основан на идентификации и адаптации имитационной модели системы регулирования к ее оригиналу с последующим определением оптимальных настроечных параметров регулятора.

Структурная схема идентификации объекта регулирования представлена на рис.1.

Процедуру идентификации следует выполнять периодически и первый раз при пуске системы. Ниже, в соответствии с рис.1 приводится последовательность основных операций идентификации.

1. Устанавливаются предварительные настроечные параметры на регуляторе $W_p(s)$ и его модели $W_p^M(s)$, заведомо гарантирующие достаточный запас устойчивости, после чего регулятор включается в работу.

2. Убедившись в прогнозируемом характере процесса регулирования, на вход регулятора подается внешнее ступенчатое идентифицирующее воздействие по заданию $u(t)$, необходимое для формирования выборки регулируемого параметра $y(t)$.

3. Производится запись в базу данных величины возмущения $u(i \cdot \Delta t)$, выборки регулируемого параметра $y(i \cdot \Delta t)$ и фиксированных интервалов времени $i \cdot \Delta t$, где Δt - интервал записи выборки в базу данных.

4. Реализуется процедура параметрической идентификации для принятой структуры модели объекта $W_o^M(s)$ в соответствии с полученной выборкой характеристики реальной системы и ранее установленными начальными настройками на модели регулятора $W_p^M(s)$.

С позиций системного подхода модель объекта будет считаться удовлетворительной, если при подаче на вход системы с действительным объектом и системы с моделью объекта одного и того же воздействия разность их выходных величин окажется достаточно малой. Критерий идентификации I_{ud} формируется в виде интеграла квадратов разности выходов реальной САР $y(t)$ и ее модели $y_M(t)$:

$$I_{ud} = \int_0^{2 \cdot \tau_{nn}} \{y_M(t) - y(t)\}^2 dt \rightarrow \min \quad (1)$$

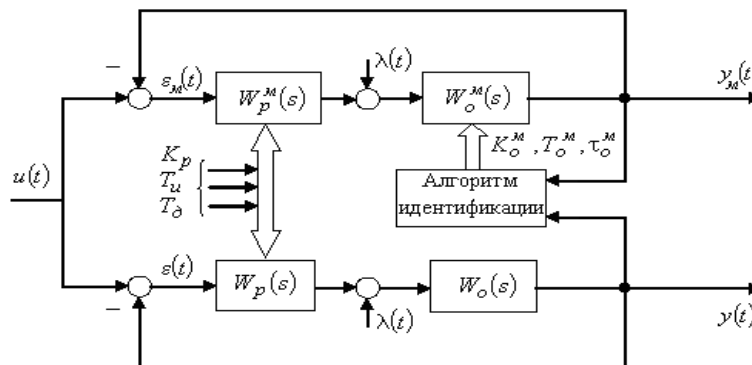


Рис.1. Структурная схема идентификации

После того, как параметры для принятой структуры математической модели объекта будут определены, осуществляется процедура параметрической оптимизации выбранного регулятора в среде имитационного моделирования. Структурная схема этой процедуры представлена на рис. 2.

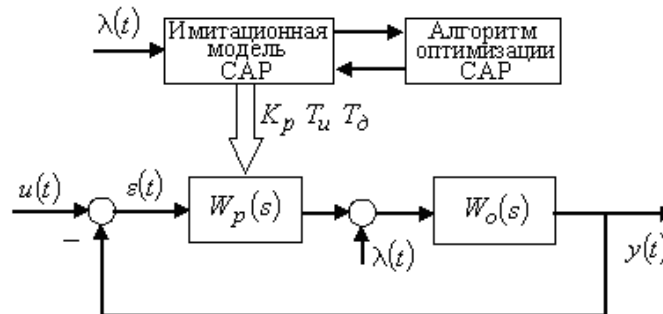


Рис. 2. Структурная схема параметрической оптимизации регулятора

В качестве критерия в алгоритме параметрической оптимизации регулятора выбран интеграл по модулю отклонения регулируемой величины в переходном процессе при ступенчатом возмущении по каналу регулирующего органа $\lambda(t)$.

$$I_{M,\lambda} = \int_0^{\tau_{nn}} |\lambda(t) \cdot y_M(t)| \cdot dt \rightarrow \min \quad (2)$$

где $y_m(t)$ – регулируемый параметр на выходе модели; τ_{nn} – интервал времени переходного процесса.

Для окончательного формирования целевой функции интеграл (2) дополняется ограничением в виде функции штрафа на допустимую величину показателя колебательности $M \leq M_{\text{дон}}$:

$$F = \begin{cases} I_{m,\lambda} \cdot \left\{ 1 + \left| M_{\text{дон}} - A_{3c}(\omega_p) \right| \right\} & \text{если } A_{3c}(\omega_p) > M_{\text{дон}}; \\ I_{m,\lambda}, & \text{если } A_{3c}(\omega_p) \leq M_{\text{дон}}, \end{cases} \quad (3)$$

где: $A_{3c}(\omega_p)$ – максимальное значение амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) для замкнутого контура регулируемой величины $y(t)$ на резонансной частоте ω_p ; $M_{\text{дон}}$ – заданное значение показателя колебательности, определяющее допустимый запас устойчивости.

Определение параметров идентифицируемой модели и настроечных параметров регулятора в процессе адаптации базируется на численных методах с использованием авторской версии эволюционного алгоритма оптимизации “Optim-MGA” [3,4]. Принцип действия алгоритма изложен на авторском сайте в сети Интернет <http://ai.xss.ru> в разделе “Программные продукты”.

В качестве иллюстрационного примера приводятся процедуры идентификации объекта и оптимизации настроечных параметров регулятора в одноконтурной системе регулирования. Реальная САР представлена в виде имитационной модели, включающей в себя объект регулирования с аддитивной случайной помехой и ПИД регулятор с реальным дифференцированием. Передаточная функция объекта регулирования, близкого по своим динамическим характеристикам к участкам регулирования температуры, где использование ПИД регулятора дает заметный эффект, выбрана в виде:

$$W_o(s) = K_o \cdot \frac{e^{-\tau_o \cdot s}}{(T_o \cdot s + 1)^n}, \quad (5)$$

где $K_o = 1 \text{ } ^\circ\text{C}/\% \text{УП}$ (УП – указатель положения регулирующего органа); $\tau_o = 20 \text{ с}$; $T_o = 100 \text{ с}$; $n = 3$.

Передаточная функция ПИД регулятора, учитывающая операцию реального дифференцирования, принята в виде:

$$W_p(s) = K_p + \frac{K_p}{T_u \cdot s} + \frac{K_p \cdot T_d \cdot s}{T_\phi \cdot s + 1}, \quad (6)$$

где K_p , T_u , T_d – настроечные параметры ПИД регулятора (коэффициент передачи, постоянные времени интегрирования и дифференцирования), T_ϕ – постоянная времени включаемого в дифференциатор сглаживающего фильтра.

Как показали исследования, проведенные авторами, в большинстве случаев наиболее приемлемой оказывается аппроксимирующая модель в виде двух последовательно соединенных А-звеньев и звена транспортного запаздывания для объектов с самовыравниванием или в виде последовательно соединенных И-звена, А-звена и звена транспортного запаздывания для объектов без самовыравнивания. Такая аппроксимация позволяет снизить чувствительность по сравнению с настройками полученными по модели более высокого порядка. С учетом отмеченного, передаточная функция аппроксимирующей модели для принятого объекта с самовыравниванием может быть записана в виде:

$$W_O^M(s) = K_O^M \cdot \frac{e^{-\tau_O^M \cdot s}}{(T_O^M \cdot s + 1)^2}, \quad (7)$$

где K_O^M, T_O^M, τ_O^M - соответственно, коэффициент передачи, постоянная времени и транспортное запаздывание аппроксимирующей модели объекта.

Номинальное значение регулируемого параметра в иллюстрационном примере (в нашем случае температура) принято равным $400 \text{ }^\circ\text{C}$. Для проведения процедуры идентификации на вход системы регулирования по каналу задания подавалось ступенчатое изменение задания от $400 \text{ }^\circ\text{C}$ до $405 \text{ }^\circ\text{C}$ продолжительностью 2000 с , после чего возмущение снималось.

Выборка переходного процесса, полученная в реальной САР и идентифицированный переходный процесс для принятого входного воздействия представлены на рис.3,а. По идентифицированной имитационной модели объекта по предлагаемой методике в соответствии со схемой на рис.2 проведен расчет настроек регулятора. Переходные процессы, полученные как на реальном объекте $y_\partial(t)$, так и на модели $y_M(t)$ при изменении задания на $5 \text{ }^\circ\text{C}$ и для возмущения по каналу регулирующего органа $\lambda(t) = 10\%$ УП (указатель положения регулирующего органа) показаны на рис.3,б. Настроечные параметры ПИД регулятора определялись исходя из принятого запаса устойчивости $M_{\partial on} = 1,55$. Амплитудно-частотная характеристика замкнутой системы $A_{\partial c}^M(\omega)$, подтверждающая соблюдение принятого условия, приведена на рис.3, в.

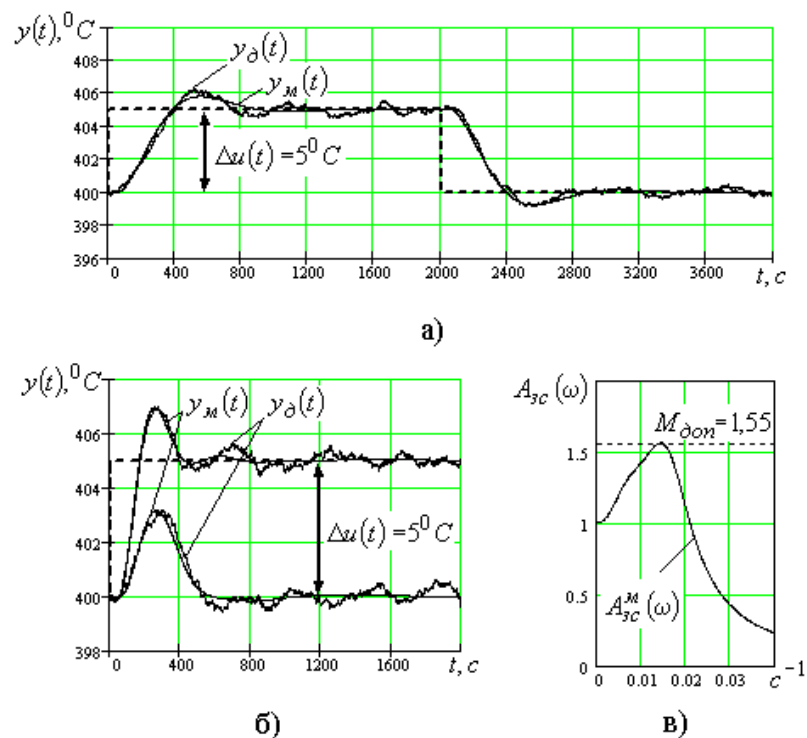


Рис.3.Идентификация системы регулирования (а), переходные процессы в реальной САР и ее модели при оптимальных настроечных параметрах (б), АЧХ замкнутой оптимально настроенной системы, реализованной на модели САР (в)

Таким образом, на первом этапе адаптации проводится первоначальная после включения регулятора идентификация системы регулирования, определяются по идентифицированной модели объекта настройки регулятора, которые затем устанавливаются в реальной системе. Периодическая адаптация, обусловленной изменением динамики объекта, осуществляется аналогично.

Предложенные авторами алгоритмы идентификации и последующей оптимизации настроечных параметров регулятора реализованы в виде универсальной программы “Tune P.I.D.”. В промышленном исполнении программа “Tune P.I.D.” подключается к информационной подсистеме АСУТП как удаленный OPC-клиент и осуществляет автоматизированный прием в реальном времени исходной информации от различных САР, входящих в АСУТП предприятия. Программа позволяет с заданной периодичностью, либо по команде инженера-наладчика изменять задание регуляторам, записывать выборки переходных процессов для идентификации объекта, после чего производить расчет оптимальных настроечных параметров регуляторов. Полученные настроечные параметры могут вводиться в контроллер либо автоматически, либо по согласованию с инженером-наладчиком.

Выводы.

1. Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что имитационное моделирование является ключевым элементом алгоритмов идентификации и адаптации САР.
2. Авторская версия эволюционного алгоритма “Optim-MGA” позволила эффективно реализовать процедуру параметрической оптимизации имитационной модели объекта регулирования и определить оптимальные настроечные параметры автоматического регулятора.
3. Предложенные алгоритмы идентификации и адаптации САР могут быть успешно реализованы в современных АСУТП.

Список литературы

1. *Соболев О.С.* О проблемах адаптивного регулирования промышленных процессов // Промышленные АСУ и контроллеры. 2004. № 10..
2. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления. Под редакцией Н.Д.Егупова. М. Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана. 2001.
3. *Сабанин В.Р., Смирнов Н.И., Репин А.И.* Параметрическая оптимизация и диагностика с использованием генетических алгоритмов // Промышленные АСУ и контроллеры. 2004. № 12.
4. *Сабанин В.Р., Смирнов Н.И., Репин А.И.* Модифицированный генетический алгоритм для задач оптимизации и управления // Exponenta Pro. Математика в приложениях. 2004. № 3, 4.

