

УДК 681.515.4

В.С. Михайленко, канд. техн. наук, доц., Одес.
гос. акад. холода,
Р.Ю. Харченко, спеціаліст, Одес. нац. морск. акад.

АДАПТИВНАЯ НАСТРОЙКА НЕЧЕТКОГО ПИ-РЕГУЛЯТОРА ПО ИДЕНТИФИКАЦИИ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА

В.С. Михайленко, Р.Ю. Харченко. Адаптивна настройка нечіткого ПИ-регулятора за ідентифікацією перехідного процесу. Розроблено нечітку модель адаптера ПИ-регулятора САР, що працює на основі алгоритму Мамдані. Проведено комп'ютерну апробацію отриманої моделі в невизначених умовах — при зміні значень передаточної функції складного об'єкту регулювання.

Ключові слова: теорія нечіткої логіки, алгоритм Мамдані, експерт-наладчик, функції приналежності; лінгвістичні змінні, нечіткий адаптер ПИ-регулятора.

В.С. Михайленко, Р.Ю. Харченко. Адаптивная настройка нечеткого ПИ-регулятора по идентификации переходного процесса. Разработана нечеткая модель адаптера ПИ-регулятора САР, работающего на основе алгоритма Мамдани. Проведена компьютерная апробация полученной модели в неопределенных условиях — при изменении значений передаточной функции сложного объекта регулирования.

Ключевые слова: теория нечеткой логики, алгоритм Мамдани, эксперт-наладчик, функции принадлежности; лингвистические переменные, нечеткий адаптер ПИ-регулятора.

V.S. Mikhailenko, R.Yu. Kharchenko. Adaptive tuning of a fuzzy PI controller by the transition process indentifying. A fuzzy model of PI-controller adapter of ACS which operates on the basis of the Mamdani algorithm has been developed. Computer testing of the obtained model in uncertain conditions (when you change the values of the transfer function of the object) has been done.

Keywords: possibility theory/fuzzy logic theory, mamdani algorithm, expert-adjuster, membership functions, linguistic variables, fuzzy pi-controller adapter.

В производственных условиях, при частых изменениях нагрузок и влиянии неконтролируемых возмущений на объект регулирования, значения его параметров подвержены динамике, что требует при наладке системы автоматического регулирования технологического процесса (САР ТП) ручной установки новых значений настроек пропорционально-интегрального (ПИ) регулятора (далее регулятора) или его адаптации. Однако, в силу ограниченности времени, отсутствия возможности контроля возмущений, сложности процесса идентификации сложного объекта и т.п. часто невозможно рассчитать оптимальные значения настроек регулятора,

что приводит к снижению эффективности работы всего ТП. Необходимость применения активных методов идентификации объекта для получения информации о нем ухудшает ситуацию, т.к. сопряжено с определенным ухудшением качества функционирования САР и, как следствие, с производственными потерями. В некоторых ТП использование активных методов идентификации объекта может привести к его неустойчивой работе. Возникает проблема оптимизации процесса адаптации регулятора, в частности, использования методов с минимальными информационными и временными затратами. Пассивная идентификация объекта не всегда эффективна [1], но можно предположить, что при ручной настройке по анализу переходного процесса использование опыта эксперта — наладчика может быть успешным.

Пассивная идентификация объекта регулирования привлекательна тем, что не вносит погрешность в ТП, несмотря на то, что ее достоверность крайне низка и может привести к ухудшению процесса регулирования [1]. Настройка регуляторов в традиционных САР весьма трудоемкая задача, требующая детальной корректировки параметров коэффициента передачи K_p и постоянной интегрирования объекта T_i [2...4]. При проведении пуско-наладочных работ эту операцию выполняют вручную, как правило по переходной характеристике системы. Фиксируя при некоторой начальной настройке вид этой характеристики и используя определенное из опыта представление о характере влияния на него параметров настройки регулятора, производят их соответствующую корректировку. Затем опыт повторяют и производят анализ новой характеристики. При необходимости настройки вновь меняют, пока процесс регулирования не станет удовлетворительным. В результате современных подходов к решению подобных задач [5, 6], предлагается апробировать метод с позиций теории нечеткой логики.

Для проведения процедуры адаптации предлагаются: применение нечеткого адаптера (НА), работающего на основе алгоритма Мамдани [5] (рис. 1), разработка нечеткой адаптивной модели САР с НА и ее компьютерная апробация в неопределенных условиях — при изменении значений передаточной функции объекта регулирования.

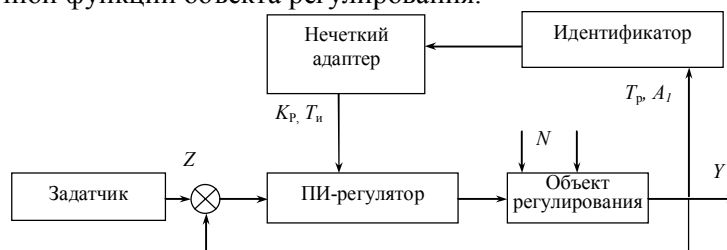


Рис. 1. Структурная схема нечеткой адаптивной САР: N — внешние возмущения; Z — задания; T_p — время регулирования; A_1 — первая амплитуда переходного процесса; Y — выходное значение

Расчет параметров по формулам не может дать оптимальной настройки регулятора, поскольку аналитически полученные результаты основываются на сильно упрощенных моделях объекта. В частности, в них не учитывается всегда присутствующая в управляемом воздействии нелинейность типа “ограничение”. Кроме того, в модели используют параметры K_p и T_i , идентифицированные с некоторой погрешностью.

Общий подход к корректировке параметров динамической настройки относительно расчетных значений может быть качественным или нечетким, т.е. в виде лингвистических правил, составленных опытным путем, [6]:

- если переходный процесс характеризуется слабой колебательностью или отсутствием таковой, но большой длительностью, то K_p регулятора следует увеличивать, а T_i — уменьшать;
- если переходный процесс носит сильно выраженный колебательный характер, то K_p должен быть уменьшен;

Известны такие правила настройки регуляторов динамических САР [2]:

- увеличение K_p увеличивает быстродействие и снижает запас устойчивости САР;
- с уменьшением T_i ошибка регулирования с течением времени уменьшается быстрее;

- уменьшение T_i уменьшает запас устойчивости САР;
- увеличение K_d увеличивает запас устойчивости и быстродействие САР.

Для проведения компьютерного эксперимента допустим, что передаточная функция объекта регулирования, состоящая из нескольких аperiodических звеньев с запаздыванием

$$W(s) = \frac{K_p}{(T_i(s) + 1)^n} e^{-\tau(s)}, \text{ где значения изменяются до 60\% случайным образом в течение времени}$$

ни в определенном диапазоне, S — комплексная переменная или оператор Лапласа. Пусть передаточная функция объекта регулирования по каналу задания $Z-Y$ $W(s)^{Z-Y} = [0,45/(3,9s+1)^3]e^{-0,52s}$. Используя формульные настройки [1] с показателем колебательности $M = 1,55$, для регулятора получим $K_p = 3,86$; $T_i = 11,18$. Апробация настроек производилась в программе *MatLab (Simulink)* [7], где была собрана компьютерная модель САР (рис. 2, а) и получена ее переходная характеристика 1 (рис. 2, б).

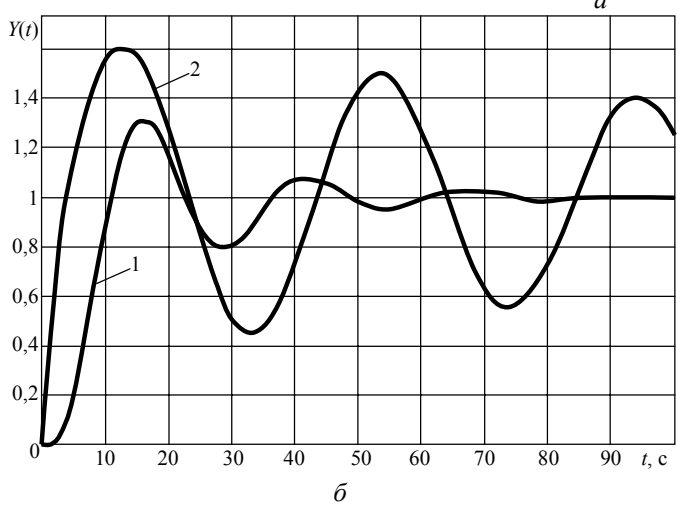
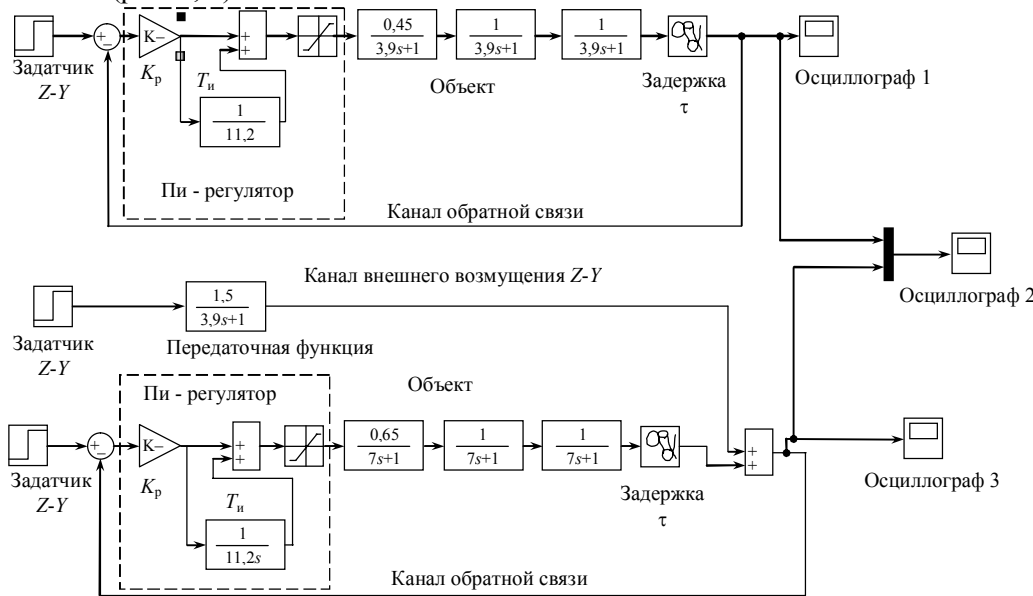


Рис. 2. Структурная схема нечеткой адаптивной САР с объектом 3-го порядка (а) и переходные процессы по каналу задания $Z=1$ (б): 1 — детерминированной САР, 2 — неопределенной САР

Для проверки устойчивости (робастности) системы в модель вводится фактор неопределенности — добавление канала внешнего возмущения $N-Y$ с передаточной функцией $W^{N-Y}(s) = 1,5/(3,9s+1)$ и увеличение значений параметров объекта K_p и T_i на 60%. В результате $W(s)^{Z-Y} =$

$= [0,65/(7s+1)^3]e^{-0,52s}$). К процессу регулювання пред'являлись требования $A_1 < 1,5$, $T_p < 60$ с. Анализ показывает, что показатели качества объекта ухудшились, объект находится на границе области устойчивости и регулятор необходимо адаптировать под новые условия работы объекта 2 (см. рисунок 2, б).

При разработке НА САР (см. рисунок 1) в среде *MatLab* для блока на реализующего алгоритм Мамдани (fuzzy logic block), заданы два входа — A_1 , T_p и два выхода — K_p , T_i . Функции принадлежности f используются Z- и S-образного вида [8]. Определены два нечетких множества — малое (M) и большое (B) и универсумы входных и выходных параметров. Нечеткие множества описаны с помощью лингвистических переменных z и s и выражены аналитическим методом по формулам Z и S-образных функций, соответственно:

$$f_{\downarrow z}(x, a, b) = \begin{cases} 1, & x \leq a \\ \frac{b-x}{b-a}, & a < x < b \\ 0, & b \leq x \end{cases}, \quad f_{\uparrow s}(x, a, b) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x < b \\ 1, & b \leq x \end{cases}$$

где a и b — числовые параметры, принимающие определенные действительные значения и упорядоченные отношением $a > b$ на функции принадлежности $f(x, a, b)$.

В качестве метода дефаззификации (устранения нечеткости) выбран метод центра тяжести [5], при котором

$$K_p = \frac{\sum_{i=1}^n K_{pi} \mu(K_{pi})}{\sum_{i=1}^n \mu(K_{pi})}, \quad T_i = \frac{\sum_{i=1}^n K_{pi} \mu(T_{ni})}{\sum_{i=1}^n \mu(T_{ni})}$$

База знаний разработана на основе экспериментальных исследований и рекомендаций [8] в программе *MatLab* (см. таблицу).

База знаний нечеткого адаптера

IF (A_1 is M) and (T_p is M) then (K_p is B)(T_i is M) (1)
IF (A_1 is M) and (T_p is B) then (K_p is M)(T_i is B) (1)
IF (A_1 is B) and (T_p is M) then (K_p is M)(T_i is M) (1)
IF (A_1 is B) and (T_p is B) then (K_p is M)(T_i is B) (1)

В результате анализа результатов работы нечеткого адаптера при входных значениях $A_1=1,6$ и $T_p=100$ с, определенных идентификатором по переходному процессу (рис. 2, б, 2), рекомендуются настройки $K_p=1,58$, $T_i=19,4$. Доказана эффективность работы адаптера при допустимых показателях качества $A_1=1,3$, $T_p=55,2$ с, определенных по процессу (рис. 2, б, 1).

При апробации рекомендованных настроек получены переходные процессы (рис. 3), удовлетворяющие требуемым показателям.

Процесс 1 отличается улучшенными характеристиками $A_1=1,18$, $T_p=45$ с, по сравнению с процессом 1

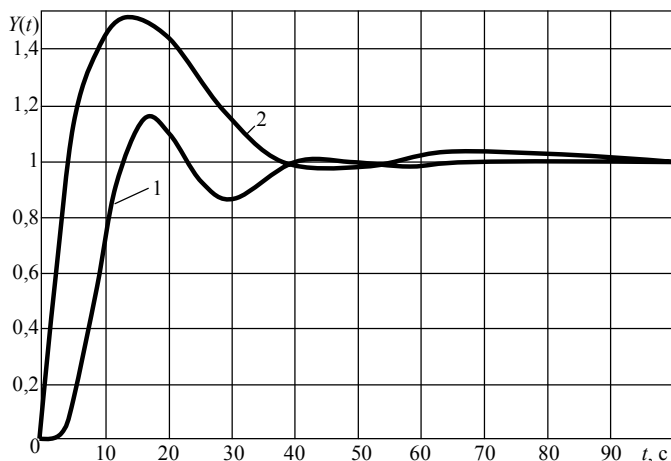


Рис. 3. Переходные процессы при настройках по нечеткому адаптеру: 1 — при детерминированном объекте, 2 — при неопределенном объекте

на рис. 2, б, где $A_I = 1,3$, а $T_p = 55,2$ с. По результатам экспериментов можно утверждать, что использование НА — эффективное средство пассивной адаптации типовой САР, функционирующей в условиях неопределенности.

Предложенный метод построения адаптивного ПИ-регулятора позволяет исключить из процесса автоматической настройки этап активной идентификации и связанные с ним ухудшения работы объекта регулирования. Осуществимость и эффективность метода доказана экспериментально.

Литература

1. Ротач, В.Я. Теория автоматического управления, /В.Я. Ротач.—М.: МЭИ, 2008. — 396 с.
2. Дейч, А.М. Методы идентификации динамических объектов, /А.М. Дейч.—М.: Энергия, 1979.—240 с.
3. Гроп, Д. Методы идентификации систем, /Д.Гроп.—М.: Мир, 1989.— 305 с.
4. Astrom, K.J. Advanced PID control, / K.J.Astrom, T.Hagglund.—ISA; - The Instrumentation, Systems, and Automation Society.—Boston, 2006.—460 p.
5. Леоненков, А.Ю. Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzyTech, /А.Ю.Леоненков.—СПб.: БХВ, 2003. — 720 с.
6. Ковриго, Ю.М. Адаптивное управление теплоэнергетическими процессами / Ю.М. Ковриго, А.П. Мовчан // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. — Харьков: ХНТУ, 2007. № 2(20). — С. 147 — 156.
7. Дьяконов, В.П. Simulink 5/6/7: Самоучитель, / В.П. Дьяконов. — М.: ДМК-Пресс, 2008. — 781 с.
8. Штовба, С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MatLab / С.Д. Штовба. — М.: Горячая линия. — 288 с.

References

1. Rotach, V.Ya. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya [Automatic Control Theory] / V.Ya. Rotach. — Moscow, 2008. — 396 p.
2. Deych, A.M. Metody identifikatsii dinamicheskikh obyekтов, [Methods for Identification of Dynamic Objects] /A.M. Deych. — Moscow, 1979. — 240 p.
3. Grop, D. Metody identifikatsii sistem, [Methods for Identification of Systems]/D.Grop. — Moscow, 1989. — 305 p.
4. Astrom, K.J. Advanced PID Control. / K.J. Astrom, T.Hagglund. — ISA; — The Instrumentation, Systems, and Automation Society. — Boston, 2006. — 460 p.
5. Leonenkov, A.Yu. Nechetkoe modelirovanie v srede Matlab i fuzzyTech [Fuzzy Modeling in Matlab and FuzzyTech Environment] / A.Yu. Leonenkov. — St.-Petersburg, 2003. — 720 p.
6. Covrigo, Yu.M. Adaptivnoe upravlenie teploenergeticheskimi protsessami. [Adaptive Control of Heat and Power Processes] / Yu.M. Covrigo, A.P. Movchan // Automatics. Automation. Electrical Equipment and Systems.—Kharkov: KNTU, 2007. #2(20). — pp. 147 — 156.
7. D'yakonov, V.P. Simulink 5/6/7: Samouchitel' [Simulink 5/6/7:Teach-yourself book]/ V.P. D'yakonov.— Moscow, 2008. — 781 p.
8. Shtovba, S.D. Proektirovanie nechetkikh sistem sredstvami MatLab [Designing Fuzzy Systems by means of MatLab] / S.D. Shtovba. — Moscow, 2009. — 288 p.

Рецензент д-р. техн. наук, проф. Одес. нац. морск. акад. Никольский В.В.

Поступила в редакцию 24 октября 2011 г.