

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТАМИ И СИСТЕМАМИ

УДК 621.311:681.5

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОМПЛЕКСНОГО И НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРОВ ПРИ УПРАВЛЕНИИ МНОГОМЕРНЫМ ОБЪЕКТОМ

Михайленко В.С., Ложечников В.Ф.

Известно, что разработка математических моделей сложных многомерных объектов вызывает определенные трудности т.к. значения регулируемых и возмущающих параметров динамичны [1]. К примеру, в передаточной функции участка регулирования температуры перегретого пара за парогенератором постоянные времени, и коэффициент передачи изменяются в 2-3 раза в зависимости от нагрузки [2]. Рассчитанные по известным методам [3] настройки типовых регуляторов для данного класса объектов, требуют коррекции при пуско-наладочных работах и в частых случаях нестационарности действующих на объекты шумов и возмущений. Существует много популярных методик позволяющих производить автоматическую корректировку настроек регуляторов или подбирать оптимальные настройки. В последнее время получили распространение САР с комплексным регулятором, в состав которого входит наблюдатель с фильтром Калмана [4], а также САР с нечетким регулятором [5]. Целью данной статьи является проведение сравнительного анализа эффективности работы комплексного и нечеткого регуляторов при управлении сложным объектом.

Для удобства моделирования САР воспользуемся программным пакетом NCD Simulink (MatLab) [6]. Объект регулирования (Plant and Actuator) (рис. 1) представляет собой последовательно соединенные блоки: нелинейность с функцией ограничения (Saturation), нелинейность динамического ограничения коэффициента усиления - блок (Rate Limiter) и линейное динамическое звено (Plant) описание которого задано через переменные состояния вида:

$$\frac{dX(t)}{dt} = AX(t) + Bu(t)$$

$$y(t) = CX(t) + Du(t)$$

где $X(t)$ – вектор столбец состояния; A – матрица коэффициентов объекта; B – матрица входа; $u(t)$ – сигнал управления; Y – вектор выхода; C – матрица выхода; D – матрица влияния входа непосредственно на выход системы (полагают $D = 0$). Уравнения состояния системы в развернутом виде:

$$\dot{X} = \begin{bmatrix} -1.03 & 0.98 & -0.94 & 0.09 \\ -1.29 & -1.09 & 2.87 & 4.79 \\ 0.18 & -3.82 & -2.08 & -0.98 \\ 0.41 & -4.16 & 2.54 & -1.42 \end{bmatrix} X + \begin{bmatrix} 0 \\ 6.64 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u$$

$$y = \begin{bmatrix} -1.78 & 1.14 & 0 & -1.03 \end{bmatrix} X$$

Матрица управляемости системы имеет следующий вид:

$$V = [B; AB; A^2B; \dots; A^{n-1}B]$$

Матрица управляемости может быть построена в MatLab с помощью функции `ctrb`, которая вызывается командой: $V = \text{ctrb}(A, B)$, а детерминант определен функцией $\det(V)$ и т.к. детерминант матрицы $V = 30800$ и отличен от нуля, то система управляема. Метод модально-

го управления предполагает, что все компоненты вектора состояния X могут быть измерены. Однако на практике некоторые компоненты могут быть неизвестны по одной из двух причин:

- измерительных приборов может быть недостаточно;
- некоторые компоненты вектора X могут не иметь физического смысла.

Однако если система является наблюдаемой, то все компоненты вектора X могут быть восстановлены по наблюдениям вектора Y . Система, описываемая матрицами A и C , является наблюдаемой тогда и только тогда, когда существует конечное время T такое, что начальное состояние $X(0)$ может быть определено в результате наблюдения выходной переменной $y(t)$, при заданном управлении $u(t)$. В случае, когда детерминант матрицы наблюдаемости $N = [C; CB; C^2B \dots C^{n-1}B]^T$ отличен от нуля, система наблюдаема. Матрица наблюдаемости может быть построена с помощью функции `obsv`, которая также может вызываться командой $N = \text{obsv}(A, C)$, а детерминант матрицы $N = -20057$ и отличен от нуля т.е. система наблюдаема и фильтр Калмана будет эффективен.

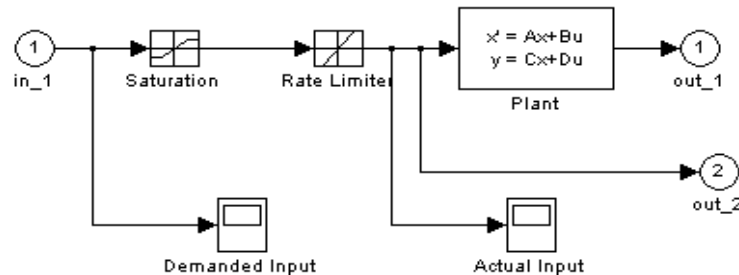


Рис.1 Объект регулирования

Настройка параметров комплексного регулятора, в производственных условиях, (рис.2) является непростой задачей т.к. регулятор имеет сложную структуру: в его состав входит : И – регулятор (Integral action), фильтр Калмана (Kalman estimator), а также многомерное пропорциональное звено (Matrix gain) с матричным коэффициентом усиления K . Для повышения быстродействия в систему введена дополнительная прямая связь от задающего воздействия (пропорциональное звено Feedforward gain с коэффициентом усиления FF). Действие внешних возмущений показано в модели источником шумовых сигналов (Plant Noise) и (Sensor Noise). В качестве задающего воздействия принят единичный импульс.

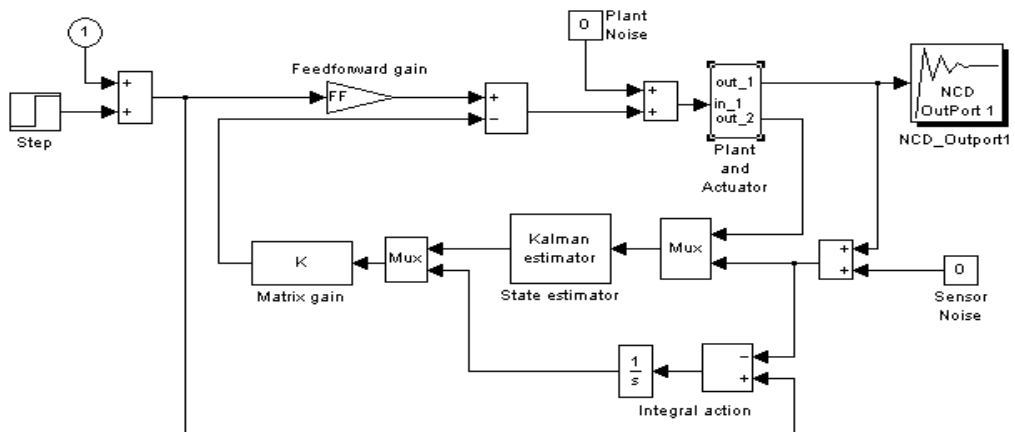


Рис. 2 Структурная схема САР с комплексным регулятором

Синтез системы сводится к нахождению наилучших значений коэффициентов усиления K и FF , при которых к переходному процессу предъявляются следующие показатели качества [6]:

- перерегулирование не превышает 20%;
- время установления – не более 2 с;
- время регулирования – 4 с.

Результат моделирования в блоке NCD, представлен на рис.3

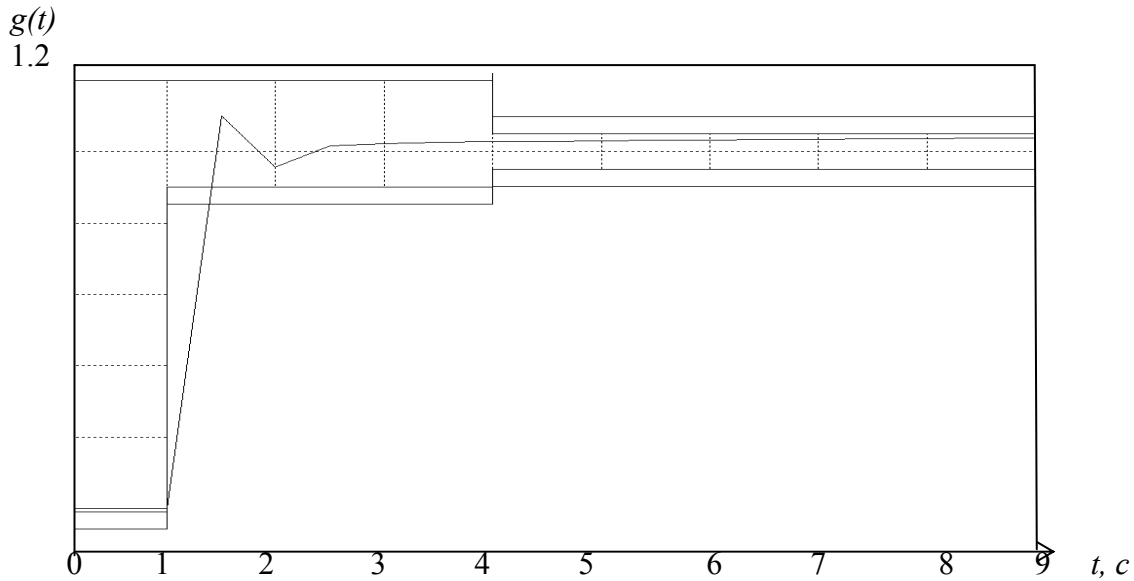


Рис.3 Переходный процесс комплексной САР по каналу задания

Рассчитанные значения оптимальных параметров равны:

$$K = [-1.0663 \ 0.9551 \ 0.0086 \ -0.2193 \ 0.0614]$$

$FF = 1.2816$, а переходный процесс САР полностью удовлетворяет заданным критериям.

Для анализа эффективности работы нечеткого регулятора проведем этапы фаззификации и составления базы правил или таблицы лингвистических преобразований.

Нами определены нечеткие множества ошибки $e(t)$, скорости изменения $e'(t)$ и управляющего воздействия $u(t)$, вышеуказанные нечеткие множества описаны с помощью лингвистического языка, в котором лингвистические переменные (ЛП) или терм-множества следующие: *NB* – отрицательно большое, *NS* – отрицательно среднее, *NM* – отрицательно малое, *Z* – нулевое, *PS* – положительно среднее, *PM* – положительно малое, *PB* – положительно большое) (рис. 4 - 6):

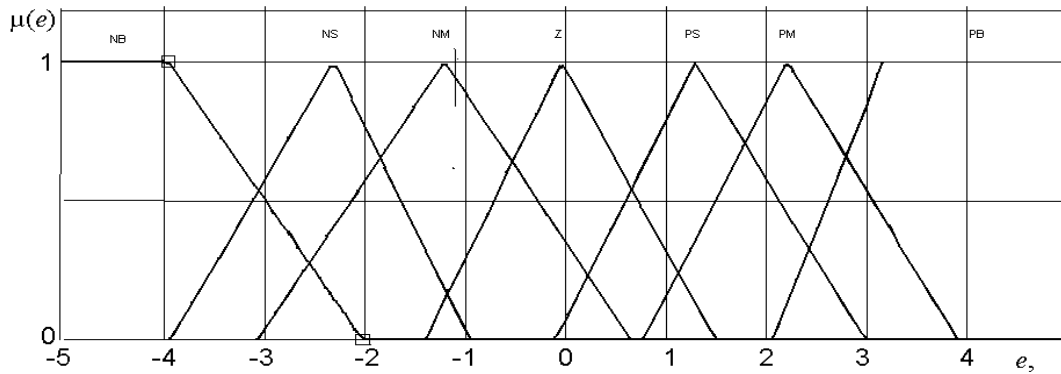


Рис. 4 Функции принадлежности ЛП «ошибка»

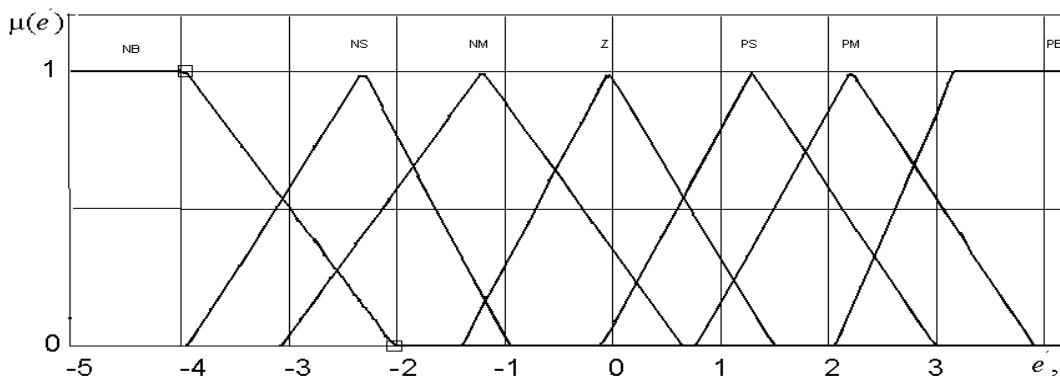


Рис. 5 Функции принадлежности ЛП «производная ошибки»

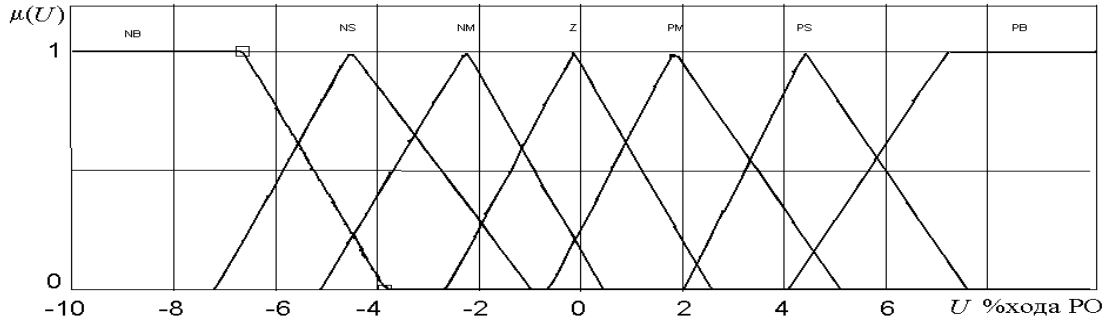


Рис. 6 Функции принадлежности ЛП «управляющее воздействие»

Правила нечеткого регулятора составлены в виде следующих суждений (табл. 1):
 ЕСЛИ $e(t)$ NM, И $e'(t)$ NM, ТО $U_e(t)$ NM, ИНАЧЕ;
 ЕСЛИ $e(t)$ NB, И $e'(t)$ NB, ТО $U_e(t)$ NB и т.д.

Таблица 1

ТЛП регулятора

Отклонение $e(t)$	Производная от отклонения, $e'(t)$						
	NB	NS	NM	Z	PM	PS	PB
	$U_e(t)$						
NB	NB	NB	NB	OS	Z	PM	PS
NS	NS	NS	NS	NM	PM	PM	PS
NM	NS	NM	NM	Z	Z	PM	PS
Z	NS	NM	NM	Z	PM	PM	PS
PM	NM	NM	Z	Z	PM	PM	PS
PS	NM	NM	Z	PM	PS	PS	PS
PB	NS	NM	Z	PS	PS	PB	PB

Апробация эффективности базы правил нечеткого регулятора с объектом регулирования (Plant and Actuator) проведена в программе Simulink (рис.7). Переходный процесс представлен на рис.8.

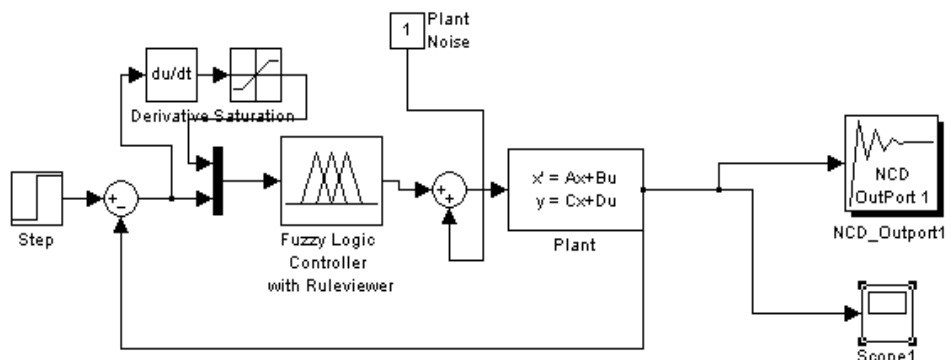


Рис. 7. Структурная схема САУ с нечетким регулятором (Fuzzy Logic Controller)

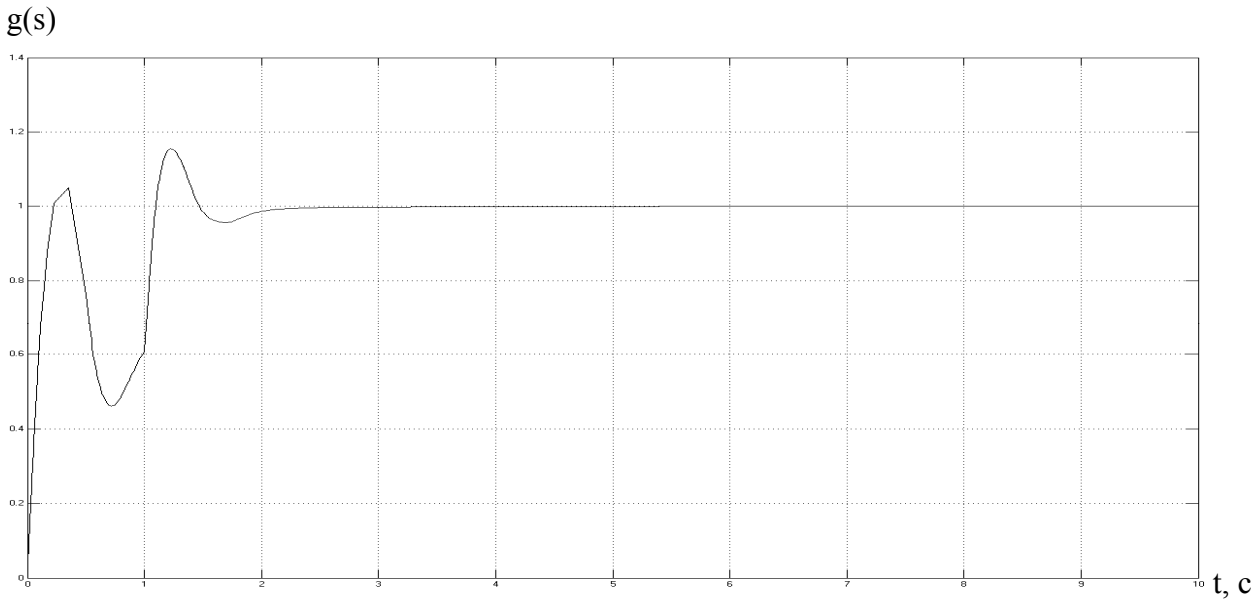


Рис.8 Переходный процесс нечеткой САР по каналу задания

Как видно, из рис.3 и 8, т.е обе систему регулирования функционируют одинаково хорошо в ситуации неизменных значений параметров объекта (элементы матрицы A постоянны). Для проверки эффективности комплексной и нечеткой САР, в неопределенной ситуации, проведем эксперимент с введением фактора неопределенности, когда все элементы матрицы A будут изменяться от половины до двух своих номинальных значений (рис.9).

Приходные процессы комплексной и нечеткой САР представлены на рис.10. Анализ процессов показывает, что при одинаковых условиях работы, нечеткий регулятор демонстрирует отсутствие запаздывания и меньшее значения перерегулирования по сравнению с комплексным регулятором.

С учетом того, что массовая промышленная реализация фильтров Калмана затруднена, а настройка регулятора сложной структуры, в процессе пуско-наладочных работ на объекте, требует участия высококвалифицированного обслуживающего персонала, можно сделать вывод о предпочтительном использовании нечетких контроллеров обладающих простотой реализации конструкции и универсальными алгоритмами программирования.

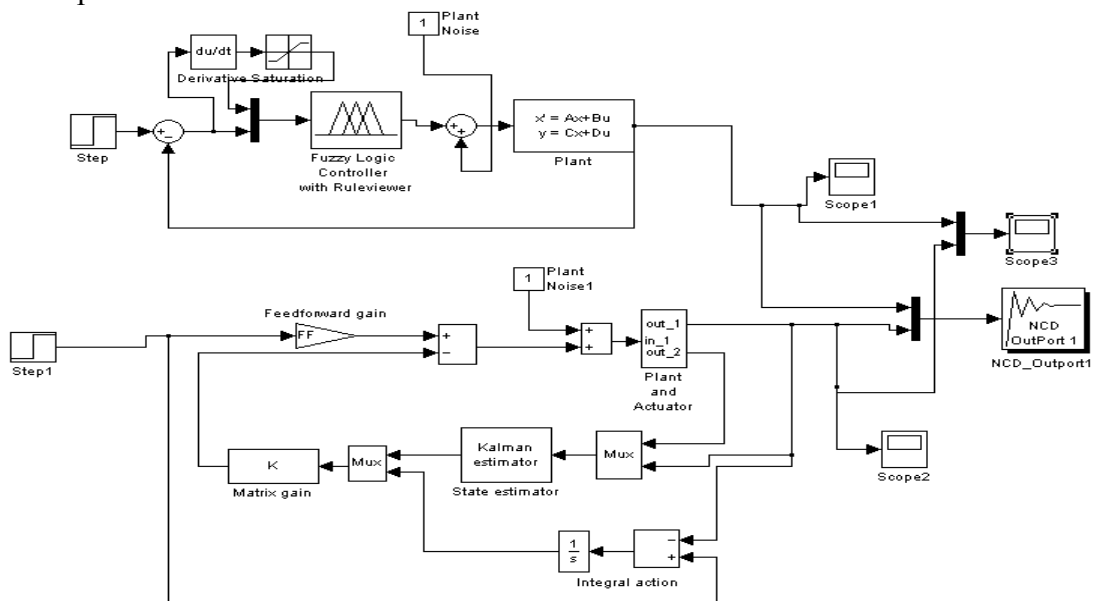


Рис.9 Структурная схема комплексной и нечеткой САР

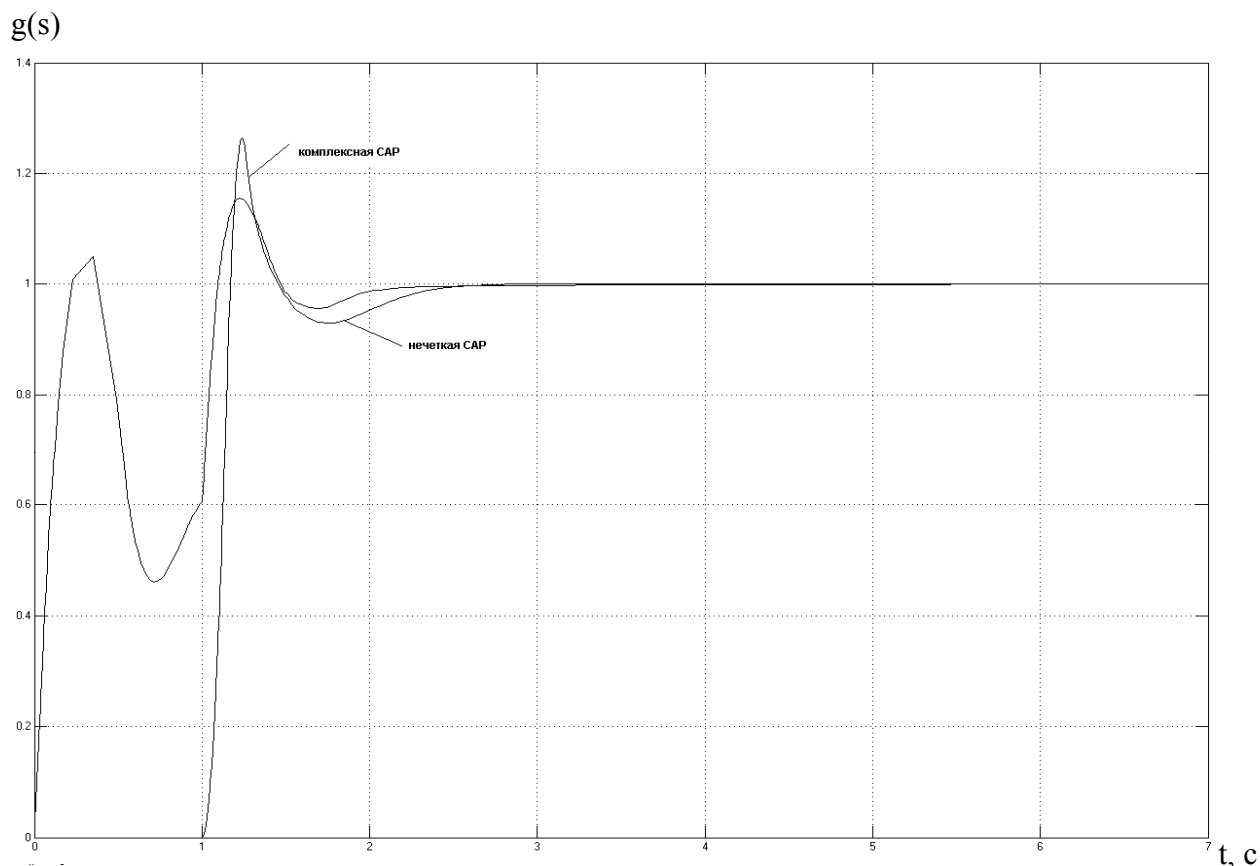


Рис.10 Переходные процессы комплексной и нечеткой САР по каналу задания

The article deals with application of complex system automatic control and fuzzy system control for difficult object. The effect of investigation is elaboration of fuzzy algorithms which have effective regulation in indefinite conditions.

1. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта //Под. ред. Д.А. Поспелова. - М.: Радио и связь,1982. - 490 с
2. Белов В.В. «Разработка и исследование методов и схем беспойсковой оптимизации АСР в теплоэнергетике на основе анализа ошибок регулирования»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Иваново 1984 г.
3. Ротач В.Я., Ключев А.С. Автоматизация настройки систем управления. М.: Энергоиздат, 1998 – 272 с.
4. Олссон Г., Пьяни Дж. Цифровые системы автоматизации и управления. СПб., 2007. - 577 с.
5. Михайленко В.С. Нечеткие контроллеры в системах автоматизированного управления. // Холодильная техника и технология. – 2004. - № 3 (98). – с. 79-82.
6. Дьяконов В. Simulink5/6/7. Специальный справочник. М: ДМК, 2008 - 781с.