УДК. 519. 71

В.С. МИХАЙЛЕНКО, Р.Ю. ХАРЧЕНКО

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕОРИЙ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ НА ПРИМЕРЕ НАСТРОЙКИ ПИ-РЕГУЛЯТОРА

Рассматриваются возможности применения различных вариантов математического аппарата в АСУ ТП сложных объектов с ПИ-регулированием. Анализируются и моделируются на ЭВМ как модели традиционных теорий, так и модели с применением альтернативного направления – теории нечеткой логики. Результаты проведенной работы показали актуальность рассмотрения нечеткого подхода в условиях неопределенности при разработке интеллектуальных систем управления.

1. Введение

Традиционные автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) строятся, как правило, на основе линейных моделей объектов. Полученные таким образом регуляторы являются устойчивыми по отношению к заложенным в их основу моделям реальных технологических процессов. Однако часто методы преобразования Лапласа и линеаризации, применяемые к нелинейным, динамическим, нечетко определенным объектам не дают ожидаемых результатов устойчивого управления и желаемого качества регулирования. А с увеличением сложности структуры объекта и выполняемых им функций становится невозможно использовать классические методы управления. Стремление преодолеть обостряющееся противоречие между усложнением создаваемых систем и традиционными подходами к их проектированию и обслуживанию в настоящее время определило одно из возможных новых направлений развития АСУ ТП, связанное с применением интеллектуальных технологий. На основе результатов научных работ [7] сформировалось несколько самостоятельных подходов к решению данной проблемы, основанных на использовании методов искусственного интеллекта, а именно:

– применение технологии экспертных систем (ЭС), предполагающей программно-алгоритмическую реализацию интеллектуальных функций на основе применения знаний;

– применение технологии нейро – нечетких сетевых структур, предполагающей аппаратно-программную реализацию интеллектуальных функций.

Использование технологии экспертных систем позволяет существенно повысить гибкость исполнительного уровня управления, что обеспечивается следующими факторами:

– возможностью работать с несколькими алгоритмами управления и адаптации, осуществляя их обоснованный выбор на основе текущей (иногда неполной и противоречивой) информации о функционирующей системе и используя знания, которые содержатся в ЭС;

– способностью к обучению и корректировке знаний; при этом содержимое ЭС всегда может быть расширено и модифицировано, что обеспечивает адаптацию системы к изменениям как в самом объекте, так и в текущих целях управления.

Необходимость разработки интеллектуальных технологий для АСУ ТП представляется *актуальной* с позиции усовершенствования, а также диктуется потребностями в уменьшении времени на настройку систем, без снижения качества и надежности.

Например, при управлении сложной системой, функционирующей в условиях неопределенности, значения контролируемых параметров объекта регулирования входят за установленные диапазоны в силу влияния неконтролируемых возмущений. В этом случае, эксперту-наладчику АСУ ТП необходимо производить дистанционное управление сложным объектом либо перенастраивать регулятор на оптимальные настройки. И для определения настроечных параметров регулятора при управлении объектом в условиях неопределенности эксперту необходимо произвести выбор математического аппарата.

Целью исследования является нахождение значений настроек ПИ – регулятора на основе аппарата теории принятия решений и теории нечеткой логики и проведение сравни-

тельного анализа полученного результата по критерию времени регулирования. Наилучшее решение может быть использовано в супервизорной АСУ для выдачи рекомендаций персоналу при коррекции настроек или для разработки системы адаптивного управления. При этом необходимо решить следующие задачи:

1. Определить диапазон изменения значений канала внешнего возмущения и соответствующий ему диапазон значений настроек регулятора для компенсации такового.
2. Провести расчет по определению оптимальных настроек с помощью методов теории принятия решений в условиях неопределенности и теории нечеткой логики.
3. Повести апробацию полученных значений с помощью компьютерного эксперимента.
4. Провести сравнительный анализ результатов в целях получения переходного процесса с минимальным временем регулирования.

Рассмотрим научно-производственную задачу: предположим, оператору – наладчику АСУ ТП известен диапазон изменения значений параметров объекта и в силу технологических условий основным критерием при выборе новых настроек регулятора является время регулирования переходного процесса. Таким образом, перед наладчиком стоит задача выбора настройки типового ПИ- регулятора для получения минимального времени регулирования при нахождении объекта в условиях неопределенности, например, подверженного нестационарным внешним возмущениям.

2. Использование теории принятия решений в условиях неопределенности

Для решения поставленной задачи рассмотрим один из научных подходов создания ЭС – теорию принятия решений в условиях неопределенности с использованием следующих критериев для анализа ситуации [2] :

1. Критерий Лапласа.
2. Минимаксный критерий (Вальда).
3. Критерий Сэвиджа.
4. Критерий Гурвица.

Параметры системы представим в виде табл. 1

Таблица 1

Состояния системы управления

$v(a_1, s_1)$	$v(a_1, s_2)$	$v(a_1, s_n)$
$v(a_2, s_1)$	$v(a_2, s_2)$	$v(a_2, s_n)$
$v(a_m, s_1)$	$v(a_m, s_2)$	$v(a_m, s_n)$

Элемент a представляет i-е возможное решение (настройки ПИ - регулятора), s_j элемент – j-е состояние системы (значение возмущения). Результат, связанный с решением a_i (настройкой регулятора K_p – коэффициент пропорциональности, $T_и$ – постоянная интегрирования) и состоянием s_j (значением возмущения T_N) составляет $v(a_i,s_j)$ – время регулирования (T_p). Представленные критерии отличаются по степени консерватизма, который проявляет эксперт. Рассмотрим их.

1. Критерий Лапласа использует оптимистическое предположение, что вероятности всех состояний системы (возмущений) равны между собой $P(s_1) = P(s_n) = 1/n$.

По Лапласу

$$K_P = \min_{a_i}\left\{\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} v(a_i, s_j)\right\}. \quad (1)$$

2. Минимаксный критерий сводится к выбору минимального значения альтернативы из максимальных:

$$K_P = \min_{a_i}\{\max_{s_i} v(a_i, s_j)\}. \quad (2)$$

3. Критерий Сэвиджа рассчитывается с учетом матрицы потерь и дальнейшего использования (1):

$$K_P = r(ai, sj) = v(ai, sj) - \min_{a_i} \{v(a_i, s_j)\}. \quad (3)$$

4. Критерий Гурвица основан на учете показателя оптимизма $\alpha \in [0,1]$:

$$K_P = \min_{a_i} \{\alpha \min_{s_j} v(a_i, s_j) + (1-\alpha) \max_{s_j} v(a_i, s_j)\}. \quad (4)$$

3. Первый компьютерный эксперимент

Для анализа эффективности предложенного подхода проведем компьютерный эксперимент в программе MatLab (Simulink) [3] (рис.1).

Объект представлен последовательным соединением инерционных звеньев с запаздыванием находящегося под действием канала возмущения в виде инерционного звена $W(s) = K_N/(T_N(s)+1)$. Задание $z = 2$.

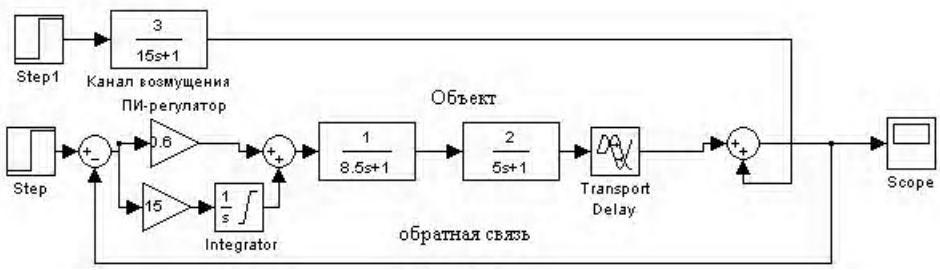

Рис. 1. Автоматическая система регулирования с ПИ – регулятором

Постоянная времени возмущения T_N варьируется в диапазоне (15 – 80 с), где (s_1=15с, s_2=40 с, s_3=80 с), при этом точное значение T_N в текущий момент неизвестно. Задача сводится к определению оптимальных настроек K_p, $T_и$ ($a_1 = (K_{p1}=0,3, T_и = 12)$; $a_2 = (K_{p2}=0,6, T_и=15)$; $a_3 = (K_{p3}=0,8, T_и=20)$ в целях получения минимального значения времени регулирования $v(a_i,s_j) = T_p$. При этом в зависимости от неопределенной ситуации (случайного T_N) можно ожидать следующие значения (табл.2).

Таблица 2

Значения состояния системы

Настройки/возмущения	s_1	s_2	s_3
a_1	60	130	300
a_2	50	125	225
a_3	70	130	225

Проанализируем данную ситуацию с точки зрения четырех рассмотренных выше критериев:

1.Лапласа. При одинаковых вероятностях возникновения $T_N=P(s_j) = 1/3$, ожидаемые значения T_p для различных возможных решений находят согласно (1):

$M(a_1) = 163,3$ с; $M(a_2) = 133,3$ с; $M(a_3) = 141,7$ с. Оптимальным является альтернатива а2.

2. Минимаксный критерий согласно (2) сводится к сведению к минимуму ожидаемого результата и позволяет получить альтернативу - a_2 или a_3.

3. Критерий Сэвиджа (3) позволяет получить табл. (3).

Таблица 3

Расчеты по Сэвиджу

Настройки/возмущения	s_1	s_2	s_3
a_1	10	5	5
a_2	0	0	0
a_3	20	5	0

Используя (2), получаем альтернативу a_2.

4. Критерий Гурвица (4). При б = 0,5 получаем табл. 4.

Таблица 4

Расчеты по Гурвицу

Альтернатива	Min строки	Max строки	α (Min строки)+ (1-α) (Max строки)
a_1	60	300	300-240α
a_2	50	225	225-175α
a_3	70	225	225-155α

Подставляя α, получаем в качестве альтернативного решения стратегию a_2.

Заключение по первому эксперименту. Сравнительный анализ результатов четырех критериев показывает, что оптимальным является альтернатива a_2 (K_{p2}=0,6, $T_и$=15), т.е. согласно теории принятия решений в условиях неопределенности, при данных настройках ПИ- регулятор будет поддерживать минимальное время регулирования при действии на объект неконтролируемых или случайных возмущений.

4. Использование теории нечеткой логики

Рассмотрим альтернативное научное направление – теорию нечеткой логики и нечетких множеств [4-6], позволяющую создавать нечеткие экспертные системы (НЭС), которые имитируют рассуждения эксперта – наладчика АСУ ТП. Данный подход предполагает использование знаний экспертов об объекте управления, представляемых в виде правил, выраженных на естественном языке. При описании объекта используются лингвистические переменные, определяющие состояние объекта. Дальнейшие процедуры формализации направлены на получение так называемых нечетких множеств, определяющих параметры объекта управления (этап фаззификации). А расчет значений управления производится с помощью применения операций - t-норм к нечетким множествам. t-нормы, или триангулярные нормы, реализуют логические операции “И”, “ИЛИ”, “НЕ”, а также операции минимума или максимума над нечеткими множествами [6]. Последним этапом является обратное преобразование значений управления в виде нечеткого множества в четкое значение выхода регулятора (дефаззификация). Базовыми типами такого рода регуляторов являются контроллеры Мамдани и Сугено или экспертные регуляторы.

Подстройку регулятора можно выполнить на основе правил, которые используются для ручной настройки. Эти правила получены из опыта, теоретического анализа и численных экспериментов. Они сводятся к следующему:

– увеличение пропорционального коэффициента увеличивает быстродействие и снижает запас устойчивости;

– с уменьшением интегральной составляющей ошибка регулирования с течением времени уменьшается быстрее;

– уменьшение постоянной интегрирования уменьшает запас устойчивости;

Перечисленные правила применяются также для регуляторов, использующих методы экспертных систем и нечеткой логики. Ручную настройку с помощью правил удобно выполнять с применением интерактивного программного обеспечения (СКАДА) на компьютере, временно включенном в контур управления. Для оценки реакции системы на изменение настроек, внешних воздействий или шумов измерений подают эмулированные воздействия и наблюдают реакцию на них. После определения наилучших настроек значения коэффициентов регулятора записывают в память ПИ-контроллера. Используя опыт эксперта – наладчика автоматизированных систем регулирования, представим его рассуждения в виде продукционных правил вида: ЕСЛИ возмущения высокие (V) И коэффициент пропорциональности регулятора высокий (V), И постоянная интегрирования регулятора высокая ТО время регулирования будет среднее (S); или ЕСЛИ s_1 = V И a_1 = V, ТО $v(a_1,s_1)$ = S.

5. Разработка нечеткой экспертной системы по определению оптимальных настроек ПИ – регулятора

Для разработки НЭС воспользуемся программой MatLab (FLT) (рис. 2) и встроенным в программу алгоритмом Мамдани [6], с последующим этапом фаззификации входных и выходной переменных (рис.3-6).

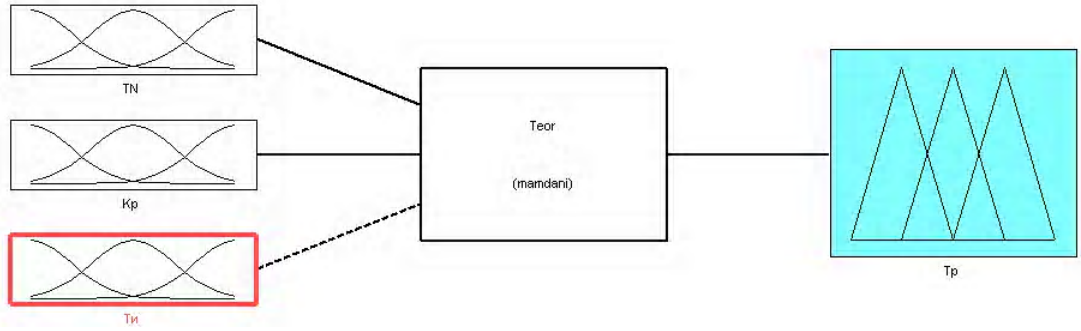

Рис. 2. Нечеткая система анализа информации

Входными параметрами НЭС являются T_N , $K_р$, $T_и$; выходной параметр – $T_р$. Типы функций принадлежности определены исходя из рекомендаций [6] и качественных рассуждений о процессе управления объектом.

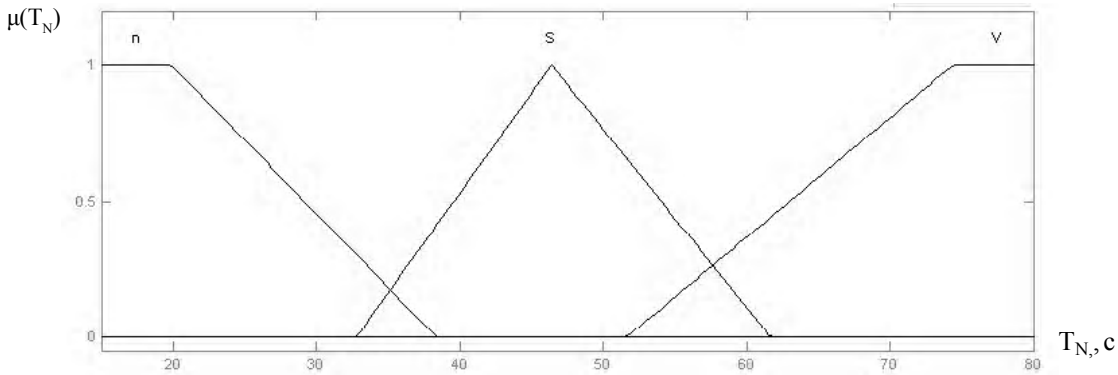

Рис. 3. Функции принадлежности T_N

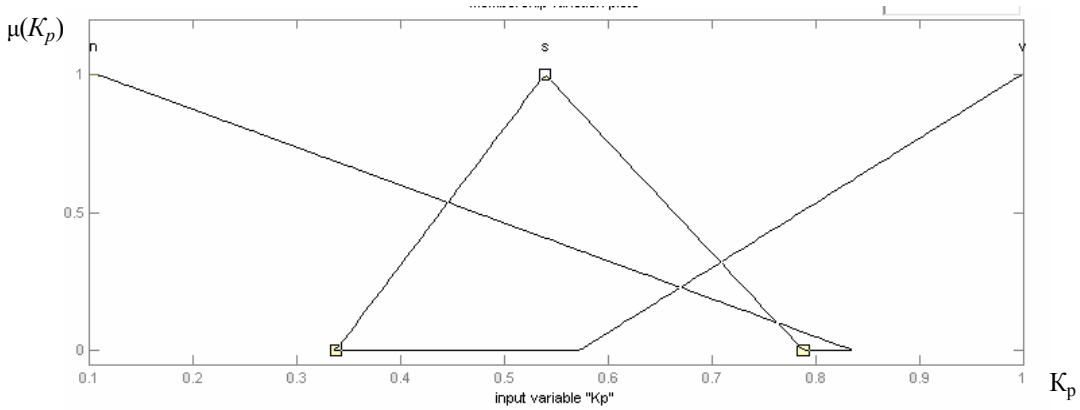

Рис. 4. Функции принадлежности $K_р$

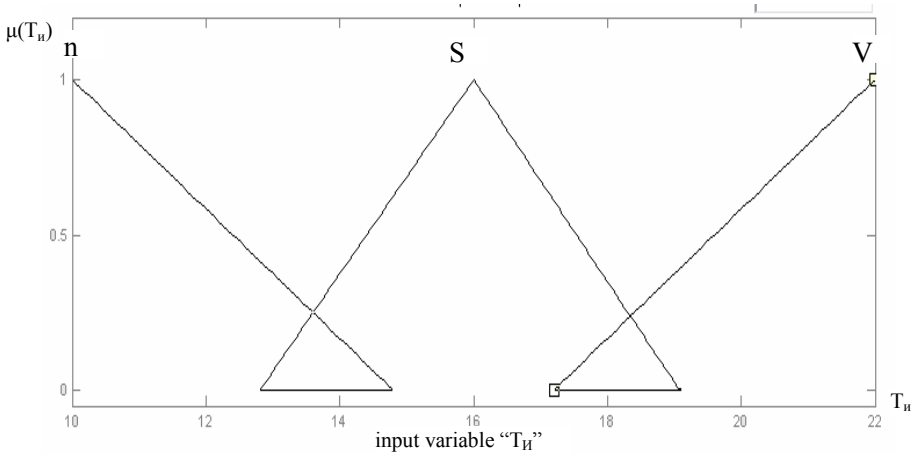

Рис. 5. Функции принадлежности $T_и$

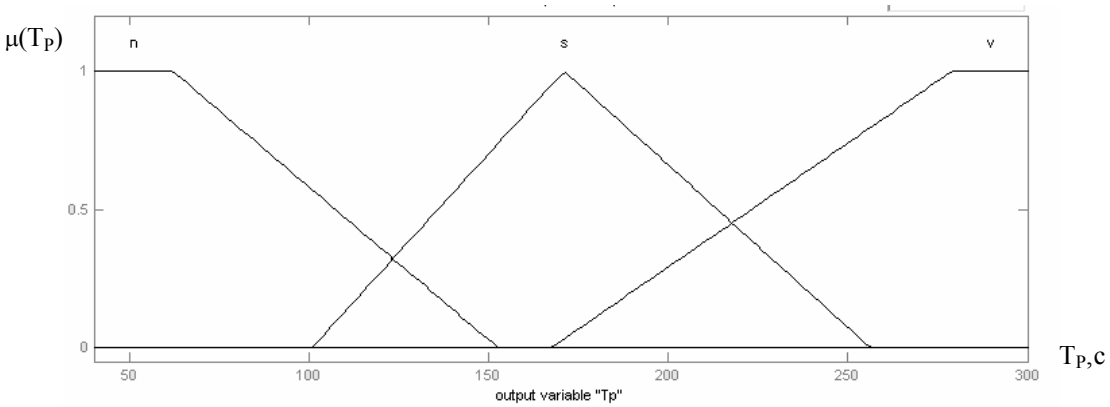

Рис. 6 . Функции принадлежности T_p

Фрагмент базы правил, имитирующую рассуждения эксперта, представлен на рис 7.

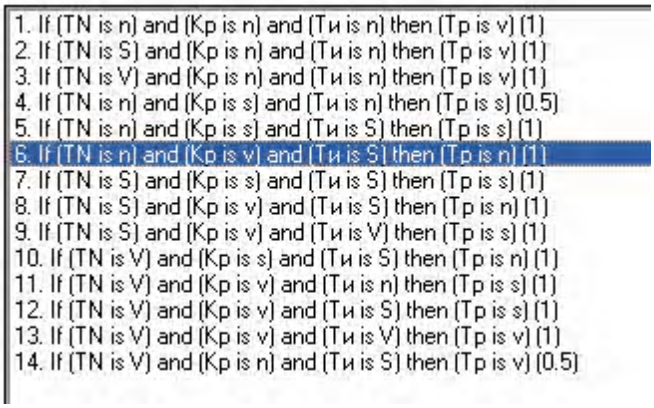

Рис. 7. Фрагмент базы правил НЭС в окне программы (FLT)

Программа FTL позволяет оператору АСУ ТП просматривать альтернативные настройки (a_i) на всем диапазоне возмущений T_N (рис.8).

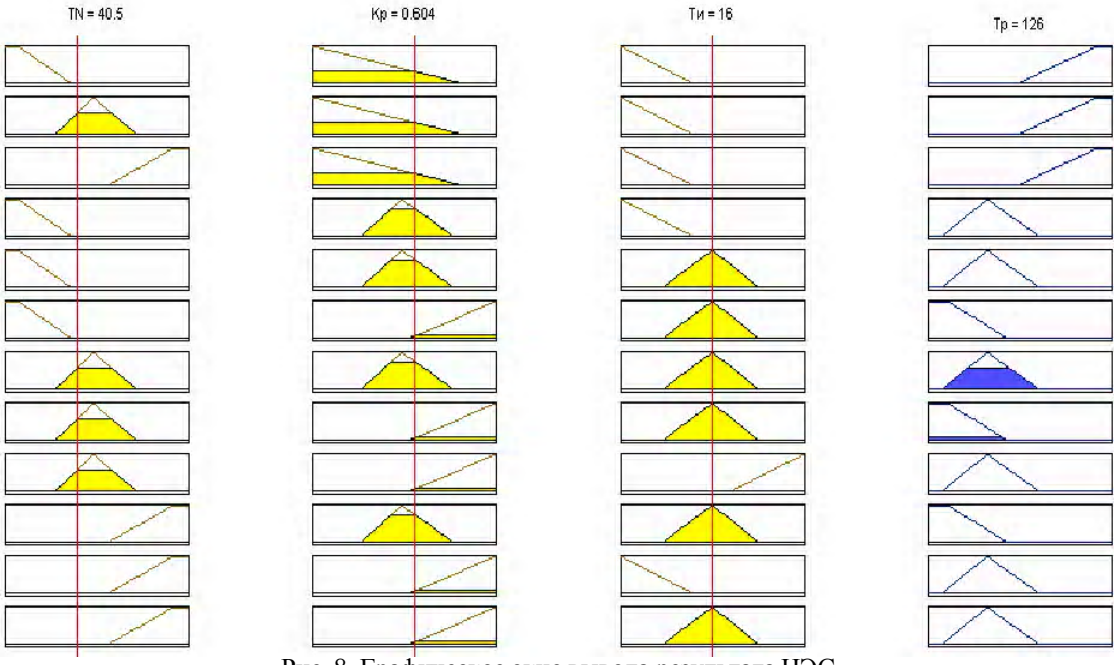

Рис. 8. Графическое окно вывода результата НЭС

Заключение по пункту 5. Как видно из рис.8 представленный результат $К_р$ = 0,6, $Т_и$ = 16 близок к альтернативе $a_{2,}$ определенной с помощью теории принятия решений (первый эксперимент). Таким образом, сравнительный анализ результата двух научных подходов демонстрирует их схожесть и позволяет рекомендовать полученные значения для адаптации ПИ -регулятора

6. Второй компьютерный эксперимент

Для проверки рекомендованного значения a_2 и осуществления сравнительного анализа с другими значениями настроек проведем компьютерный эксперимент с подстановкой произвольного значения T_N = 75 и настроек (a_1, a_2) (рис.9).

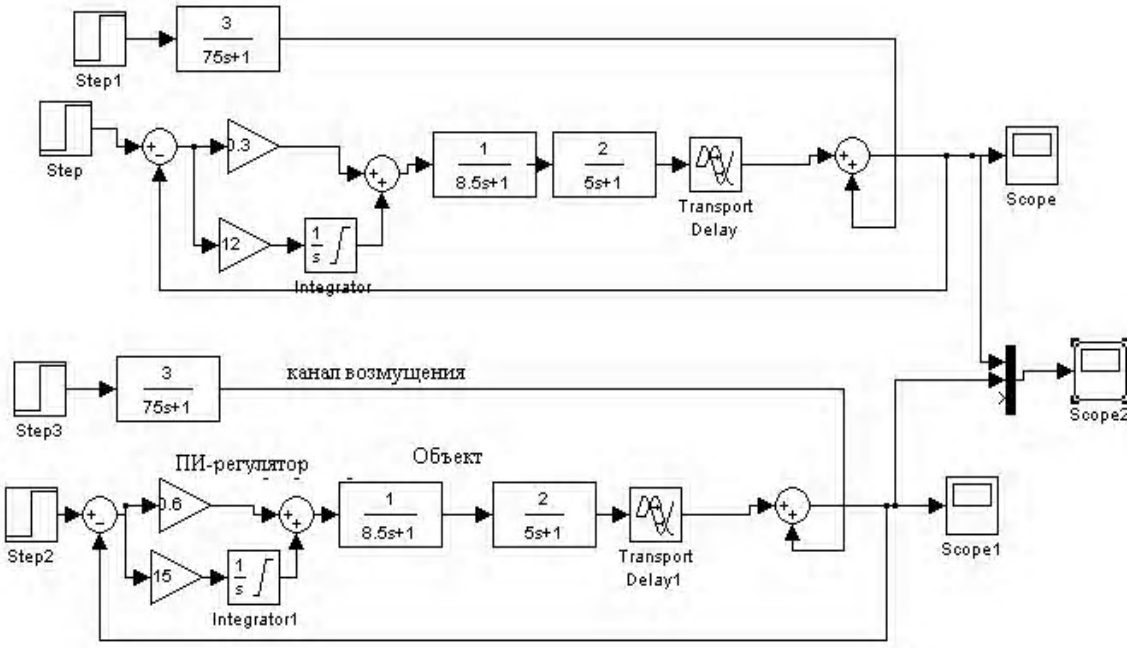

Рис. 9. АСР с ПИ – регуляторами при влиянии на объект внешнего возмущения

Результат эксперимента (переходные процессы регулирования) представлен на рис.10.

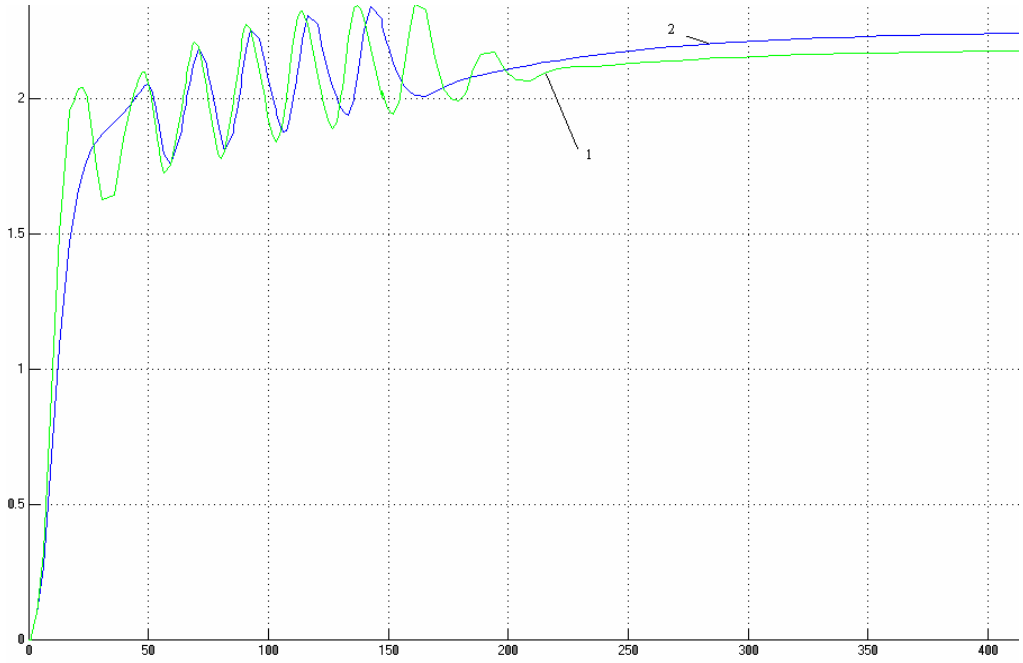

Рис. 10. Переходные процессы регулирования

7. Заключение

Как видно из рис. 10, альтернатива (a_2) демонстрирует лучший результат с $T_p = 225$ с в отличие от альтернативы a_1 с $T_p = 275$ с. Альтернатива a_3 показывает худший результат по сравнению с a_2 и имеет $T_p = 240$ с. Аналогичным образом можно рассматривать и определение настроек для ПИД – регулятора, а также моделировать параметрические возмущения.

Научная новизна заключается в установлении, что теория нечеткой логики, с подходом моделирования опыта эксперта, альтернативна теории принятия решений в условиях неопределенности и в отличие от последней позволяет оператору вести супервизорное управление без использования расчетов значений критериев по четырем методам.

Практическая значимость состоит в возможности совместного использования нескольких научных подходов при разработке интеллектуальных АСУ ТП. Это позволит выбрать наилучший алгоритм управления (альтернативу) в случае совпадения результатов, избежать ошибок в управлении, вызванных человеческим фактором, и повысит качество управления в целом.

Список литературы: 1. *Блюмин С.Л., Шуйкова И.А.* Модели и методы принятия решений в условиях неопределенности. Липецк: ЛЭГИ. 2001. **2.** *Тынкевич М.А.* Экономико – математические методы (исследование операций). Кемерово :КГТУ. 2000. **3.** *Дьяконов В.П.* Simulink 5/6/7: Самоучитель. М.: ДМК-Пресс, 2008. **4.** *Борисов А.Н., Алексеев А.В., Меркурьева Г.В.* и др. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. М: Радио и связь. 2002. **5.** *Алиев Р.А., Церковный А.Э., Мамедова Г.А.* Управление производством при нечеткой исходной информации. М.: Энергоиздат. 1991. 234 с. **6.** *Леоненков А. Ю.* Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzyTech. С. Птб.: БХВ, 2003. 720. **7.** *Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л.* Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польск. И.Д. Рудинского. М.: Горячая линия – Телеком, 2006. 452 с.

Поступила в редколлегию 19.03.2011

Михайленко Владислав Сергеевич, канд. техн. наук, доц. Одесской государственной академии холода. Научные интересы: интеллектуальные системы управления. Адрес: Украина, 65082, Одесса, ул. Дворянская, 1/3, тел. 0634531509, vlad_mihailenko@mail.ru.

Харченко Роман Юрьевич, ст. преп. Одесской национальной морской академии. Научные интересы: интеллектуальные системы управления. Адрес: Украина, 65029, Одесса, ул. Дидрихсона, 8, тел. 0964535937, romannn30@gmail.com.