

## К ВОПРОСУ О НАСТРОЙКЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПИ-РЕГУЛЯТОРА В ПРОЦЕССЕ ОТРАБОТКИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ВОЗМУЩЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОСЕТЕВОГО ОПТИМИЗАТОРА

А.В. Фомин, аспирант

А.И. Глущенко, к.т.н., доцент

Д.А. Полещенко, к.т.н., доцент

Научный руководитель – Ю.И. Еременко, д.т.н., профессор

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал)

НИТУ "МИСиС",

г. Старый Оскол

E-mail: verner444@mail.ru

Автоматизированные системы управления в своем развитии достигли такого уровня, при котором техническая модернизация уже не дает существенного улучшения процесса управления. Добиться экономии времени и энергоресурсов возможно только при использовании оптимальных и адаптивных систем управления. Однако, более 90% промышленных предприятий используют классические ПИД- и ПИ-регуляторы. Они являются линейными, в то время как большинство технологических объектов по своей природе нелинейны, и аппроксимация нелинейной зависимости линейной функцией не дает необходимой точности. Поэтому актуальной является разработка методов построения адаптивных систем, ведущих подстройку параметров ПИ-регулятора в реальном масштабе времени. Перспективным является направление построения подобных систем на основе комбинации нейронных сетей [1] (НС) и экспертных систем (ЭС) [2], поскольку ЭС позволяет отразить знания эксперта о свойствах объекта управления (ОУ), а НС способны оперативно обучаться во время работы.

Таковыми свойствами обладает система, построенная на основе нейросетевого оптимизатора параметров ПИ-регулятора [3] и представляющая собой нейросетевую надстройку над классическим ПИ-регулятором. Используя базу правил, определяющую необходимость настройки регулятора и скорость обучения отдельных нейронов сети, система производит обучение НС, выходами которой являются новые параметры ПИ-регулятора. Данная разработка показала свою высокую эффективность при работе с тепловыми объектами в технологических режимах, в которых преобладают частые смены уставок. Но регулятор, оптимально настроенный на переходные процессы, в большинстве случаев неэффективно борется с возникающими в установившемся режиме возмущениями. Поэтому дальнейшей целью стала реализация на базе действующей системы адаптивного управления подсистемы, позволяющей эффективно бороться с возникающими возмущениями.

Для борьбы с ними рекомендацией является увеличение значения параметра регулятора  $K_I$  [4,5]. Нейросетевой оптимизатор оптимально подстраивает  $K_I$  для отработки возмущений [6], однако, открытым остается вопрос о необходимости настройки  $K_I$ . В связи с этим, целью исследования является установление необходимости настройки  $K_I$  в зависимости от типа возмущающего воздействия и места его приложения к системе. Было принято решение рассматривать 2 типа возмущающих воздействий, что является общепринятым при исследовании реакции системы управления на возмущающее воздействие:

1) возмущение типа «А»: возмущающее воздействие подается в канал управления, имитируя колебания параметров энергоносителя, подаваемого на ОУ;

2) возмущение типа «Б»: возмущающее воздействие подается после объекта управления (ОУ), имитируя резкую потерю тепла ОУ вследствие различных технологических причин. Например, открытие шторы проходной печи при загрузке садки.

Для экспериментов был выбран процесс нагрева муфельной электрической печи SNOL 40/1200 (рис.1). Ее модель была получена путем идентификации. Объект управления представлен двумя апериодическими звеньями I порядка в виде передаточных функций  $25/(1694s+1)$  и  $1/(10s+1)$ . Коэффициент  $Ku$  ПИ-регулятора реализован в виде S-функции (блок S-function3 Gain) для возможности его изменения непосредственно в процессе моделирования. Так же в модели реализован блок Switch, служащий для переключения между ПИ-регуляторами, настроенными на переходный процесс и на обработку возмущений. До переключения значение Gain равно 0.00023. Узел, состоящий из двух блоков Const и делителя, служит для расчета  $Ku$  в соответствии с соотношением и записью результата в регулятор (блок WriterK2).

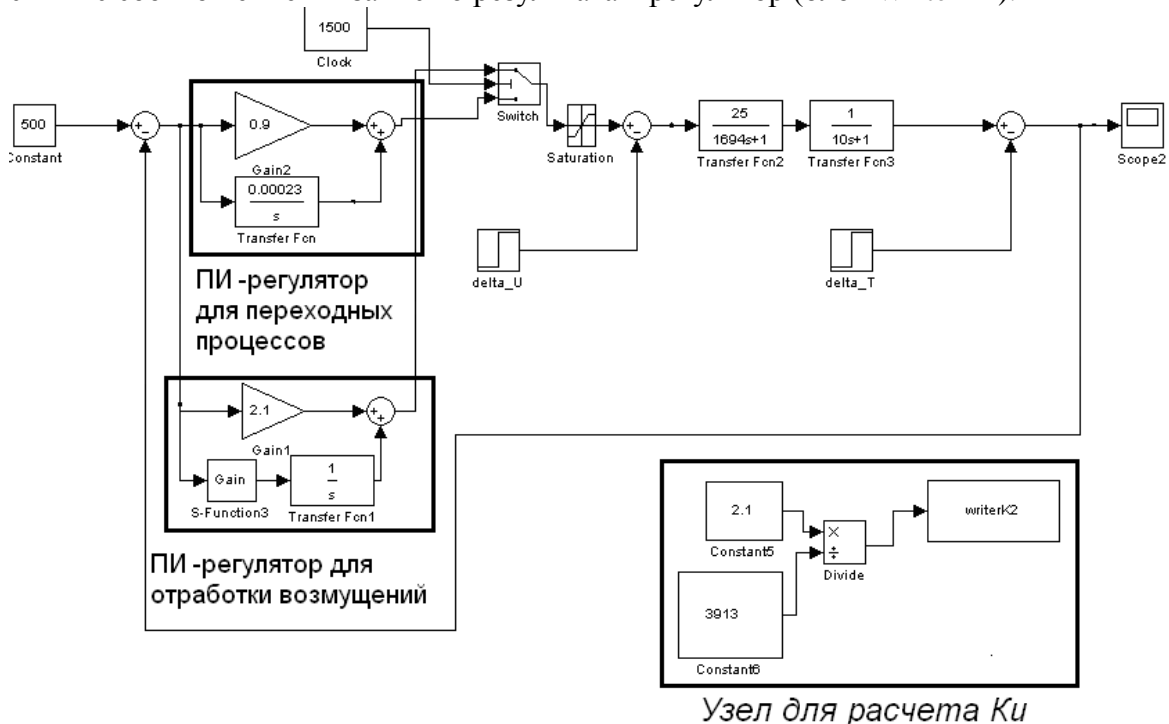


Рис.1. Структурная схема моделирования

На первом этапе моделирования на систему подавалось возмущение типа «А» равное 7% управляющего воздействия. Была проведена серия экспериментов для различных значений  $Kn$  и соотношений между  $Kn$  и  $Ku$ . Соотношения менялись от первоначальной настройки, полученной для переходных процессов ( $Kn/Ku=0.9/0.00023=3913$ ) до соотношения, равного 25. В результате получены графики отработки возмущения, показанные на рис.2. Наилучшим оказалось соотношение 75, что говорит о том, что при действии данного типа возмущения настройка параметра  $Ku$  в сторону увеличения принесет существенное улучшение качества его отработки.

На втором этапе данный эксперимент проводился с возмущением типа «Б» (рис.3). Возмущение было равно 40% от уставки по температуре. Из графиков видно, что на результаты отработки возмущения типа «Б» И-канал регулятора имеет существенно меньшее влияние (наилучшим оказалось соотношение коэффициентов 5000) по сравнению с типом «А», так как результат действия возмущения типа «А» фиксируется

на выходе ОУ с существенной задержкой, величина которой зависит от значения постоянной времени ОУ.

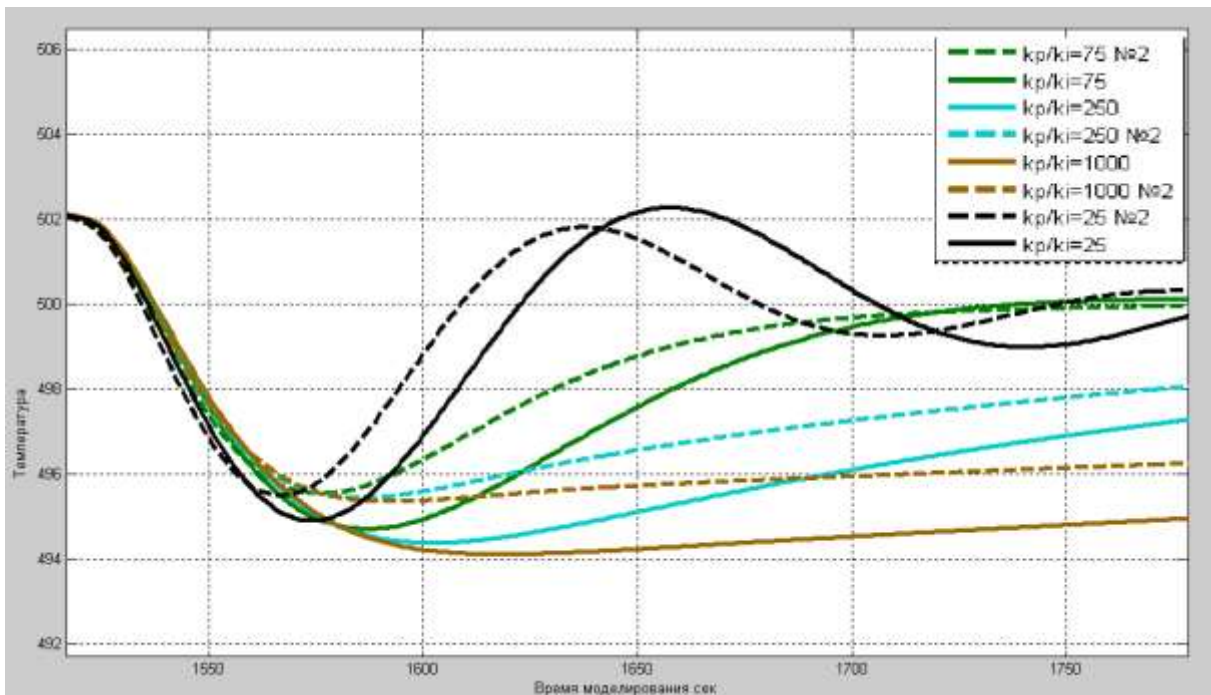


Рис.2. Сравнительный график отработки возмущения при различных  $K_p$  (2,1 (сплошная линия) и 2,8 (прерывистая линия))

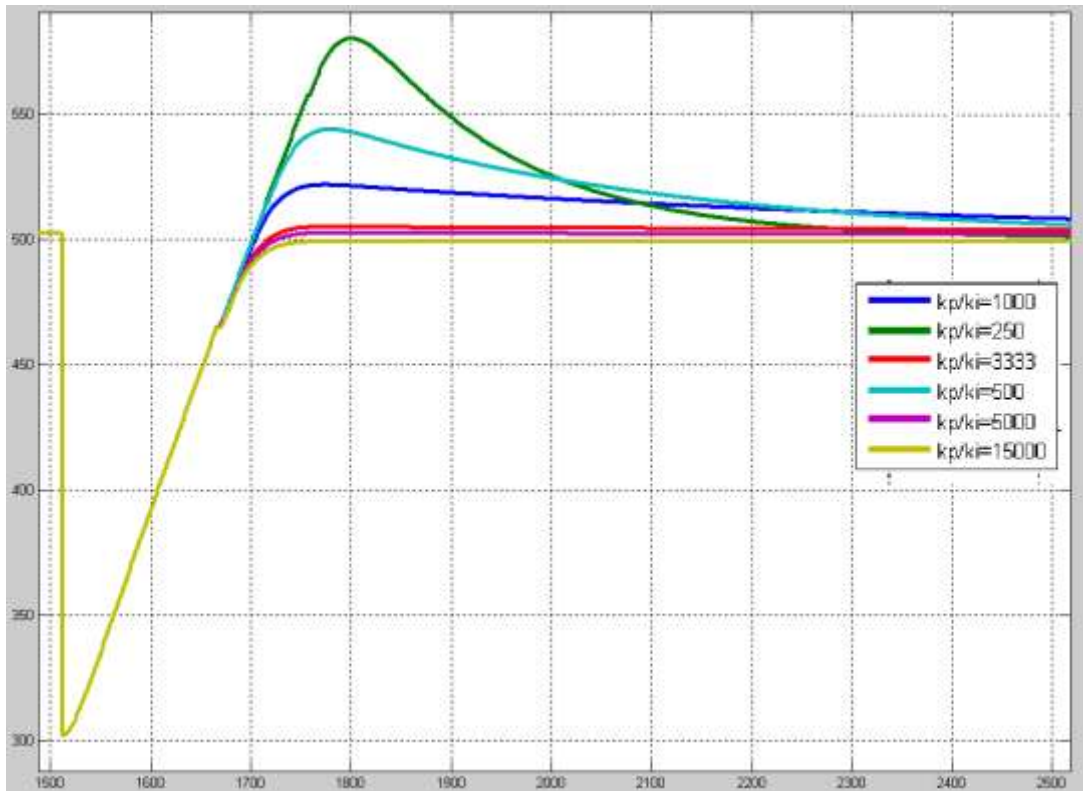


Рис.3. Сравнительный график отработки возмущения типа «Б» при различных соотношениях коэффициентов  $K_p/K_i$

Для определения типа возмущений в процессе функционирования реального объекта управления предлагается использовать градиент изменения температуры. Предполагается, что градиент температуры при возмущении типа «А» коррелирован с динамикой объекта и не может превышать ее. Возмущение типа «Б» будет иметь более высокую скорость нарастания ошибки. Различая градиенты, предполагается возможным идентифицировать тип возмущающего воздействия и, в соответствии скорректировать скорость обучения нейрона, ответственного за обучение  $K_u$ .

На основе проведенного исследования возможно сделать следующие выводы:

1) результаты моделирования свидетельствуют о том, что для различных типов возмущений необходимы различные подходы к настройке И-канала ПИ-регулятора, т.е. скорость обучения нейрона, формирующего значение  $K_u$ , в нейросетевом оптимизаторе зависит от типа возмущения, действующего на ОУ;

2) дальнейшей целью является реализация подпрограммы нейросетевого оптимизатора, которая позволит различать типы возмущающих воздействий с помощью градиента по температуре.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (13-08-00532-а, 15-07-0609215), гранта Президента РФ № 14.У30.15.4865-МК.

#### Литература

1. Omatu S., Khalid M., Yusof R. Neuro–Control and its Applications. – London: Springer, 1995. – 255 p.

2. Anderson K.L., Blankenship G.I., Lebow L.G. A rule–based adaptive PID controller: Proc. 27th IEEE Conf. Decision. Control, 1988. – P. 564–569.

3. Еременко Ю.И., Полещенко Д.А., Глущенко А.И. О применении нейросетевого оптимизатора параметров ПИ-регулятора для управления нагревательными печами в различных режимах работы // Управление большими системами. –2015. – Вып. 56. – С.143-175.

4. Ziegler, J., Nichols, N. Optimum settings for automatic controllers // Trans. ASME. – 1942. – № 65. – P. 759–768.

5. Nesler C.G. Experiences in applying adaptive control to thermal processes in buildings: Proc. Amer. Control Conf., Boston, MA, 1985. – P. 1535–1540.

6. Еременко Ю.И., Полещенко Д.А., Фомин А.В. Об использовании нейросетевого оптимизатора параметров ПИ-регулятора для управления нагревательными печами в режиме борьбы с возмущениями. Материалы XII Всероссийской школы-конференции молодых ученых "Управление большими системами" [Электронный ресурс]. - М.: ИПУ РАН, 2015. – 12 с.