



УДК 004.2

PROCESS CONTROL BY MEANS OF PI-REGULATOR WITH BALLAST LINK

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ С ПОМОЩЬЮ ПИ-РЕГУЛЯТОРА С БАЛЛАСТНЫМ ЗВЕНОМ

Seryakov A.G./ Серяков А.Г.

с.т.с. / к.т.н.

Shchegolkova V.A./Щеголькова В.А.

Shostka Institute of Sumy State University, Shostka, st. Gagarin 1, 41100

Шосткинский институт Сумского государственного университета,

Шостка, ул. Гагарина 1, 41100

Аннотация. В работе рассмотрен синтез системы управления с ПИ-регулятором, имеющим в своем составе балластное звено. Это балластное звено появляется в результате рассмотрения стандартного ПИ-регулятора совместно с исполнительным двигателем, управляющим клапаном. Моделирование данной системы в MatLab показало существенное сокращение времени переходного процесса по сравнению с регулированием стандартным регулятором. Отклонение параметров АЧХ и ФЧХ на резонансной частоте системы практически не отличались от аналогичных параметров при регулировании стандартным регулятором системы, у которой исполнительный двигатель был добавлен к основному объекту управления

Ключевые слова: ПИ-регулятор с балластным звеном, система управления, управляемый привод, MatLab

Вступление.

В работе сравнивались характеристики двух объектов регулирования. В первом объекте регулирования исполнительный двигатель рассматривался совместно с классическим ПИ-регулятором, во втором – как составная часть объекта управления (адсорбера). Совмещение с классическим ПИ-регулятором исполнительного двигателя постоянного или переменного тока приводит к появлению у регулятора балластного звена, но позволяет существенно сократить время переходного процесса при переуправлении не превышающем 4%.

Целью данной работы было подобрать такое управление регулированием уровня монометаноламина в адсорбере, которое бы позволило бы существенно сократить время переходного процесса.

Идеальный ПИ-регулятор имеет передаточную функцию вида:

$$W(p) = k_p + \frac{1}{T_u p} \quad (1)$$

Для регулирования исполнительными механизмами (ИМ) применяются двигатели постоянного и переменного тока или поршневые гидравлические исполнительные регуляторы [1,3]. В большинстве случаев это медленно работающие устройства. Инерцией движущихся частей исполнительного механизма можно как правило пренебречь и передаточную функцию записать в виде:

$$W_{им}(p) = 1/(T_{им}p) \quad (2)$$



Здесь $T_{им}$ – постоянная времени, под которой понимают время непрерывного движения при номинальной нагрузке и максимальной скорости выходного вала исполнительного механизма от одного крайнего положения до другого, соответствующих перемещению регулирующего органа между положениями его минимального и максимального открытия. В системах управления эти двигатели можно отнести как к регулятору, так и объекту управления. Рассмотрение исполнительных двигателей как составной части ПИ-регуляторов позволяет существенно сократить время переходного процесса. Для уменьшения отрицательного влияния на закон ПИ-регулирования исполнительного двигателя его охватывают отрицательной обратной связью в виде усилительного звена с передаточной функцией [1]:

$$W_{oc}(p) = k_{oc} \quad (3)$$

Структурная схема такого ПИ-регулятора представлена на рис.1

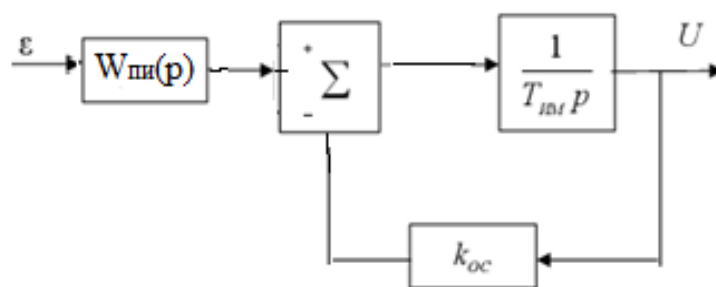


Рис.1 Схема ПИ-регулятора с исполнительным двигателем

Такое представление ПИ-регулятора совместно с исполнительным двигателем позволяет значительно сократить время переходного процесса. Добавка звена исполнительного двигателя к классическому ПИ-регулятору приводит к появлению у регулятора балластного звена. Такой регулятор реализует в этом случае ПИ закон регулирования с точностью, определяемой этим балластным звеном.

Передаточная функция ПИ-регулятора, изображенного на рис. 1, запишется в следующем виде:

$$W_p = \frac{1}{k_{oc}} W_{III}(p) \cdot \frac{1}{T_{\delta} p + 1} \quad (4)$$

где $T_{\delta} = T_{им} / k_{oc}$

Таким образом в ПИ-регуляторе произойдет уменьшение результирующего значение

$$k'_p = k_p / k_{oc} \quad (5)$$

Такой комбинированный регулятор со структурной схемой на рис.1, реализует ПИ – закон регулирования только в зоне частот, верхняя граница которых меньше, чем $1/T_{\delta}$. Чем меньше T_{δ} , тем больше зона правильной работы ПИ-регулятора. Регулировать T_{δ} можно, увеличивая коэффициент обратной связи k_{oc} , но это одновременно приведет к уменьшению согласно (5) коэффициента k'_p . Для сохранения неизменным коэффициента передачи



комбинированного ПИ-регулятора необходимо одновременно с изменением k_{oc} менять и k_p , увеличивая его в k_{oc} раз (рис.2)

Регулирующий клапан изменяет расход подаваемого вещества при перемещении плунжера. При мгновенном изменении положения плунжера расход жидкости также меняется мгновенно. Поэтому клапаны являются обычными усилительными звеньями [2], в которых входная и выходная величины связаны коэффициентом передачи k_{pk} . В качестве регулирующего клапана был выбран клапан с линейной пропускной способностью и производительностью при полном открытии плунжера $k_{pk}=0,19 \text{ м}^3/\text{ч}$. Клапан принят как объект управления с передаточной функцией:

$$W_k(p) = k_{pk} = 0.19 \text{ м}^3 / \text{ч} \quad (6)$$

Объект регулирования- барботажный слой в адсорбере (емкость с жидкостью). Мат. модель такого объекта записывается в виде звена первого порядка

$$W(p) = \frac{k_{об}}{1 + T_{об}p} \quad (7)$$

Значение коэффициента передачи и постоянная времени были определены предварительно по кривой разгона и равнялись соответственно: $k_{об} = 0.5$, $T_{об} = 61 \text{ с}$.

Структурная схема канала управления уровнем монометаноламина изображена на рис.2

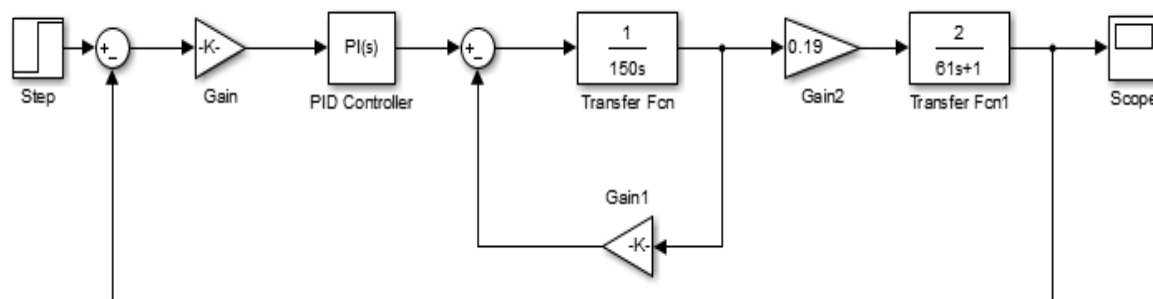


Рис. 2 Канал управления уровнем монометаноламина с исполнительным двигателем, ПИ-регулятором и управляемым клапаном

Настройка параметров ПИ-регулятора с балластным звеном, обеспечивающих минимальное время переходного процесса, было произведена в Matlab (Simulink) с помощью опции TUNE и регуляторов Response Time и Transient Behavior. Результаты оптимизации представлены на рис.3

Качество регулирования в этом случае составило:

Перерегулирование $\sigma = 4\%$;

Время переходного процесса $t_{ин} = 12,6 \text{ с}$

Параллельно на модели (рис.4) было проведено в MatLab регулирование системы управления с классическим ПИ регулятором. С помощью опции TUNE и регуляторов Response Time и Transient Behavior (рис. 5) были получены следующие показатели качества регулирования.

Перерегулирование $\sigma = 4\%$;



Время переходного процесса $t_{\text{III}} = 298$ с

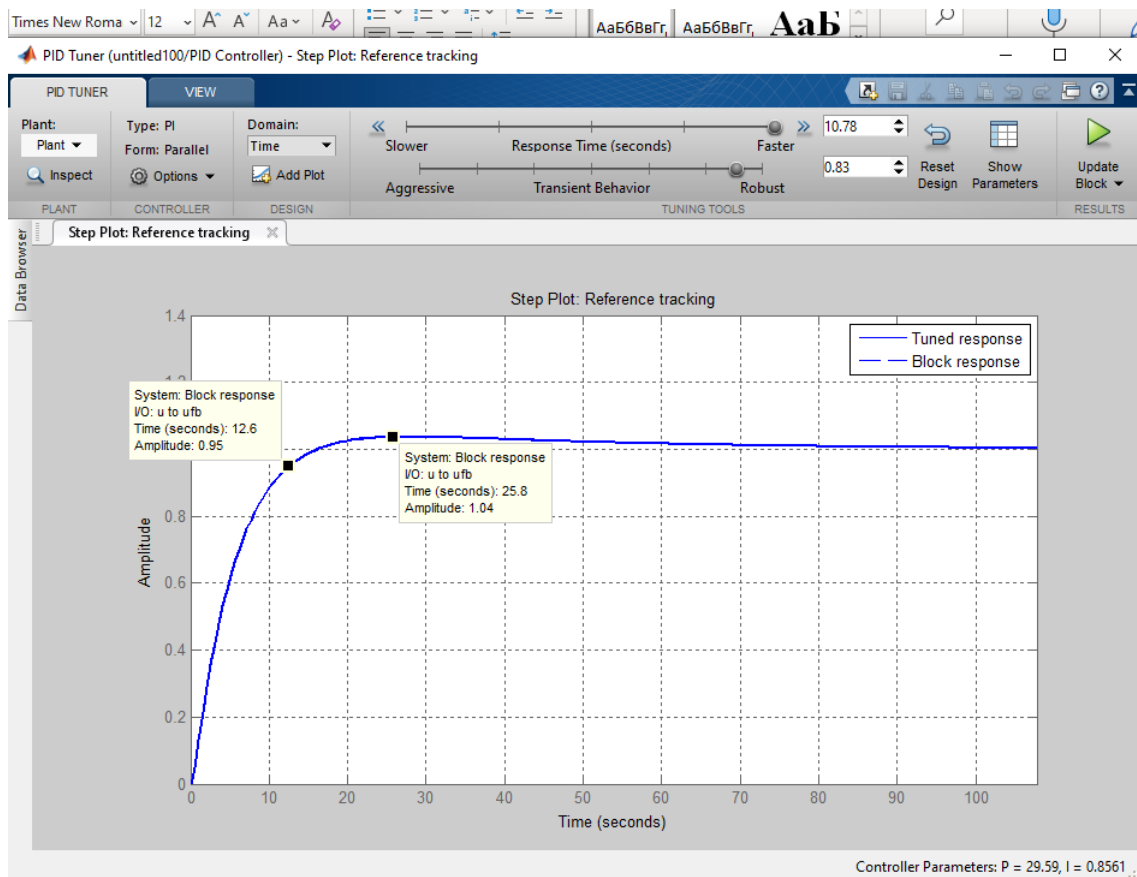


Рис. 3 Окно настройки параметров ПИ-регулятора с балластным звеном.



Рис.4 Структурна схема регулирования объекта управления классическим ПИ-регулятором

Таким образом применение ПИ -регулятора с балластным звеном позволило существенно увеличить быстродействие регулирования уровня жидкости в адсорбере (с 298 с до 12,6 с) при практически неизменном перерегулировании. Ошибки при регулировании ПИ-регулятором с балластным звеном в основном определяется балластным звеном. Эти ошибки будут максимальны на резонансной частоте, которая согласно [1,4] определяется по следующей формуле:

$$\omega_0 = 3,7/T_{\text{из}} \quad (8)$$

где $T_{\text{из}}$ постоянная времени ПИ-регулятора с балластным звеном.

Исследование влияния балластного звена на АЧХ и ФЧХ на резонансной частоте системы с ПИ-регулятором с балластным звеном и с ПИ-регулятором классическим проводились по схемам на рис.2 и рис.4. Вместо входного сигнала типа ступеньки на вход системы подавался гармонический сигнал резонансной частоты ω_0 . Результаты исследований представлены в таблице 1

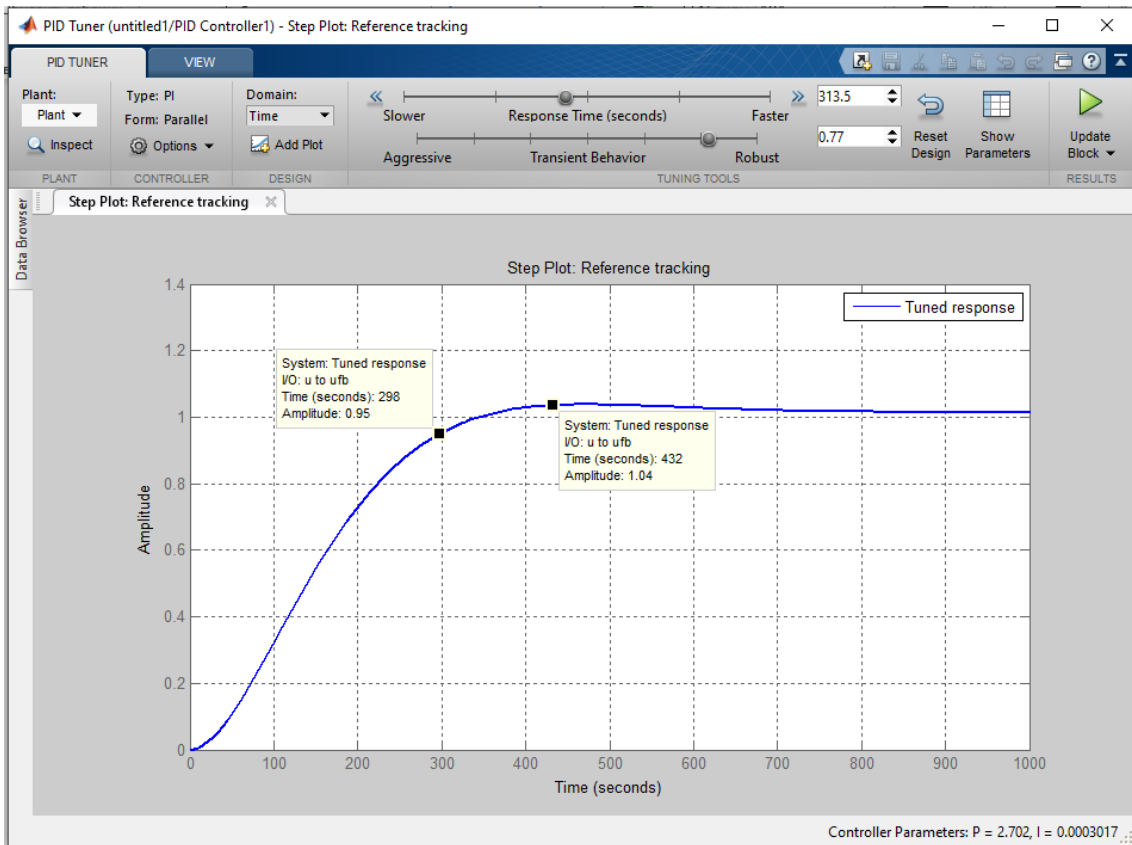


Рис 5 Окно настройки классического ПИ-регулятора.

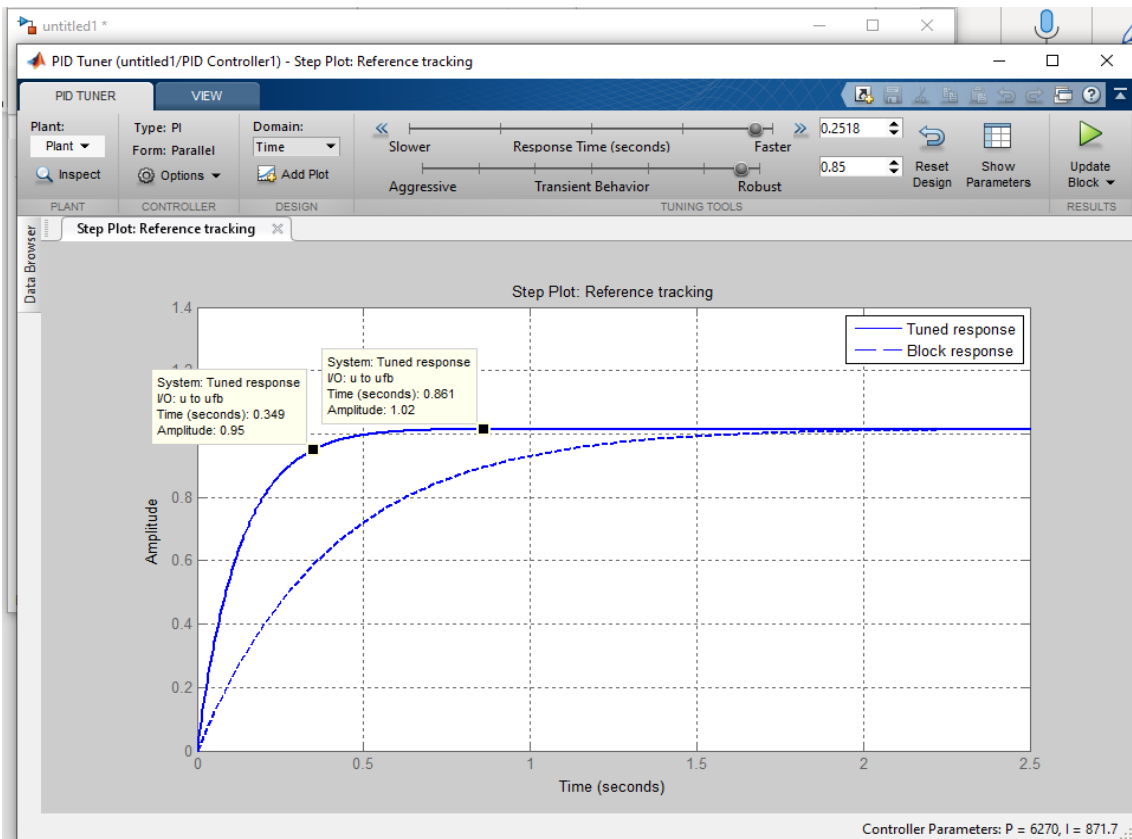


Рис. 5 Окно настройки стандартного ПИ-регулятора



Таблица 1

Результаты исследований, полученные в опытах по рис.2,4

Вид регулятора	σ , %	$t_{\text{пп}}$, с	k	$T_{\text{из}}$, с	ω_0 , рад/с	A_i	$\Delta \varphi$, рад.	$\Delta \varepsilon_{A_i}$, %	$\Delta \varepsilon_{\Delta \varphi}$
классический	4	298	2,7	9006	-	0,755	54,3	$\pm 1,8$	$\pm 1,1$
с балластным звеном	4	12,6	29,59	34,56	0,107	0,769	53,7		

где σ - перерегулирование; $t_{\text{пп}}$ -время переходного процесса; k -коэффициент ПИ-регулятора; $T_{\text{из}}$ -постоянная времени ПИ-регулятора; ω_0 -резонансная частота регулирования системы с балластным звеном (рис.2); АЧХ при резонансной частоте; ФЧХ при резонансной частоте; $\Delta \varepsilon_{A_i}$ -относительная ошибка АЧХ контура управления с балластным звеном при резонансной частоте; $\Delta \varepsilon_{\Delta \varphi}$ -относительная ошибка ФЧХ контура управления с балластным звеном при резонансной частоте.

Как видно из таблицы, относительные ошибки как по АЧХ, так и по ФЧХ не существенны, что, вероятно связано с тем, что постоянная времени балластного звена существенно отличается от периода резонансной частоты системы управления

Выводы

1. Применение для регулирования ПИ-регулятора с балластным звеном позволяет существенно сократить время переходного процесса, тем самым увеличить скорость реагирования регулятора на управляющий сигнал.

Регулируя коэффициент обратной связи в цепи исполнительного двигателя, можно влиять на граничную частоту области нормальной работы регулятора (ОНР)

2. Применение ПИ-регуляторов с балластным звеном позволяет существенно сократить время переходного процесса для систем, описываемых звеньями с астатизмом первого порядка.

3. Применение методов оптимизации параметров регулятора методами MatLab позволяет существенно сократить его время настройки

Литература.

1. А.С. Ключев Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования.//М.: Энергоатомиздат, 1989, с.368

2. В.П. Тарасик Исследование характеристик электрогидравлических пропорциональных клапанов.-Вестник Белорусско-Российского университета, 2014, №14 (42), с.52-64

3. А.В. Федотов Автоматизация управления в производственных системах. // Омск, ОмГТУ, 2001, с.368

4. А.Я. Красовский Локальные системы управления.//Минск, 2008, с.173

Abstract. The paper considers the synthesis of a control system with a PI controller, which includes a ballast link. This ballast link is the result of considering a standard PI controller in conjunction with an executive motor driving the valve. Simulation of this system in MatLab showed a significant reduction in the time of the transient process in comparison with the regulation of a



standard regulator. The deviation of the frequency response and phase response parameters at the resonant frequency of the system practically did not differ from similar parameters when regulated by a standard regulator of a system in which an executive motor was added to the main control object

Key words: *PI-controller with ballast link, control system, controlled drive, MatLab.*

Статья отправлена: 18.04.2019 г.

© Серяков А.Г.