

УДК 62-50

С.А. Бобриков, Е.Д. Пичугин, кандидаты техн. наук

### КОМПЕНСАЦИЯ ВОЗМУЩЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВОЗМУЩЕНИЙ

*Рассмотрен метод измерения возмущающего воздействия, приложенного к объекту управления, путем сравнения сигналов на выходе системы управления и на выходе модели системы управления. Показано, что сигнал разности, поданный через компенсирующее звено на вход исполнительного устройства, существенно уменьшает влияние возмущающего воздействия на объект управления.*

**Ключевые слова:** управление, возмущающее воздействие.

S.A. Bobrikov, Ph.D., E.D. Pichugin, Ph.D.

### COMPENSATION OF DISTURBANCES USING AUTOMATIC CONTROL SYSTEM MODEL FOR THE MEASUREMENT OF DISTURBANCES

*The method of measuring of revolving influence, attached to the object of management is considered, by comparison of signals on the output of control system and on the output of model of control system. It is shown that the signal of difference, given through a compensating link on the entrance of executive device, substantially diminishes influence of the revolving affecting object of management.*

**Keywords:** control, disturbance force.

С.О. Бобриков, Е.Д. Пичугин, кандидаты техн., наук,

### КОМПЕНСАЦІЯ ЗБУРЕНЬ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МОДЕЛІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ДЛЯ ВИМІРУ ЗБУРЕНЬ

*Розглянуто метод вимірювання збурюючої дії на об'єкт управління шляхом порівняння сигналів на виході системи управління і на виході моделі системи управління. Показано, що сигнал різниці, поданий через компенсуючу ланку на вхід виконавчого пристрою, істотно зменшує вплив збурюючої дії на об'єкт управління.*

**Ключевые слова:** управління, дія, що обурює.

Управление по возмущающему воздействию, осуществляемое совместно с управлением по ошибке позволяет существенно повысить качество системы, свести к минимуму ошибки управления. Однако непосредственное измерение возмущающего воздействия не всегда возможно. В данной работе показано, как можно получить сигнал, пропорциональный возмущению, с помощью модели системы управления и использовать этот сигнал для уменьшения влияния возмущений на систему.

Рассмотрим типовую систему автоматического управления (САУ), состоящую из трех звеньев: управляющего и исполнительного устройств и объекта управления. Полагаем, что возмущающее воздействие приложено к объекту управления. Для получения сигнала, пропорционального возмущающему воздействию, сравниваются два сигнала: на выходе системы управления и на выходе модели. Сигнал разности, зависящий от возмущающего воздействия, через компенсирующее звено подается на вход исполнительного механизма с тем, чтобы влияние

возмущения на объект управления было минимальным. На рис.1 приведена структурная схема системы управления с измерением возмущения. На схеме приняты обозначения:  $K_{yy}(P)$ ,  $K_{iy}(P)$ ,  $K_{oy}(P)$  – передаточные функции управляющего, исполнительного устройств и объекта управления;  $K^1_{yy}(P)$ ,  $K^1_{iy}(P)$ ,  $K^1_{oy}(P)$  – передаточные функции звеньев модели принятые равными соответствующим передаточным функциям реальной системы;  $K_{ky}(P)$  – передаточная функция компенсирующего устройства;  $G(P)$  – задающее входное воздействие;  $F(P)$  – возмущающее воздействие. Используя формулу Мейсона [1], запишем уравнение системы, связывающее выходную величину  $Y(P)$  с возмущающим воздействием  $F(P)$ :

$$Y(P) = -F(P)W_{FY}(P) + [Y^1(P) - Y(P)]W_{AY}(P), \quad (1)$$

где  $W_{FY}(P)$  – передаточная функция, связывающая выходную величину с возмущающим воздействием

$$W_{FY}(P) = \frac{K_{i0}(P)[1+W_{\dot{e}2}(P)]}{\Delta(P)} = \frac{Y(P)}{F(P)}, \quad (2)$$

© Бобриков С.А., Пичугин Е.Д., 2011

$W_{\Delta Y}(P)$  – передаточная функция, связывающая выходную величину с разностью сигналов на выходе системы и на выходе модели системы

$$W_{\Delta Y}(P) = \frac{K_{\text{ЕО}}(P)K_{\text{ЕО}}(P)K_{\text{іО}}(P)[1+W_{\text{Е2}}(P)]}{\Delta(P)} = \frac{Y(P)}{Y(P)-Y^1(P)}; \quad (3)$$

$\Delta(P)$  – главный определитель в формуле Мейсона [1],

$$\begin{aligned} \Delta(P) &= 1 + W_{\text{К1}}(P) + W_{\text{К2}}(P) + W_{\text{К3}}(P) + \\ &+ W_{\text{К1}}(P)W_{\text{К2}}(P) + W_{\text{К2}}(P)W_{\text{К3}}(P), \\ W_{\text{К1}}(P) &= K_{\text{уу}}(P)K_{\text{иу}}(P)K_{\text{оу}}(P), \\ W_{\text{К2}}(P) &= K_{\text{уу}}^1(P)K_{\text{иу}}^1(P)K_{\text{оу}}^1(P), \\ W_{\text{К3}}(P) &= K_{\text{ку}}(P)K_{\text{иу}}(P)K_{\text{оу}}(P); \end{aligned}$$

$W_{\text{К1}}(P)$  – передаточные функции замкнутых контуров.

Полагая, что задающее воздействие отсутствует ( $Y^1(P)=0$ ), из (1) находим

$$Y(P) = -F(P) \frac{W_{\text{FY}}(P)}{1 + W_{\Delta Y}(P)}. \quad (4)$$

Подставив в (4) передаточные функции (2) и (3), после преобразований получим

$$Y(P) = \frac{-F(P)K_{\text{оу}}(P)[1 + W_{\text{К2}}(P)]}{\Delta + K_{\text{ку}}(P)K_{\text{иу}}(P)K_{\text{оу}}(P)[1 + W_{\text{К2}}(P)]}.$$

Из последнего выражения видно, что компенсирующее устройство влияет на зависимость выходной величины  $Y(P)$  от возму-

щающего воздействия  $F(P)$ . Предположим, что  $K_{\text{ку}}(P) = K_{\text{ку}} = \infty$ , тогда выходная величина не будет зависеть от возмущающего воздействия. Отсюда можно сделать вывод, что чем больше коэффициент усиления компенсирующего звена, тем меньше выходная величина зависит от возмущения. Однако компенсирующее и исполнительное устройства вместе с объектом управления образуют замкнутый контур, поэтому вид передаточной функции компенсирующего звена и её параметры должны быть выбраны с учетом динамических свойств этого контура. Очевидно, общий коэффициент усиления контура должен быть меньше критического значения, при котором контур находится на границе устойчивости.

В качестве примера рассмотрим систему, структурная схема которой приведена на рис.1. Примем следующие передаточные функции звеньев системы:

$$K_{\text{уу}}(P) = 60P + 10, \quad K_{\text{иу}}(P) = \frac{1}{0,5P + 1},$$

$$K_{\text{оу}}(P) = \frac{0,1}{(10P + 1)P}.$$

Передаточную функцию компенсирующего звена выберем так, чтобы выполнялось условие

$$K_{\text{ку}}(P)K_{\text{иу}}(P)K_{\text{оу}}(P) = \frac{K_{\text{max}}}{P}, \quad (5)$$

где  $K_{\text{max}}$  – максимальная допустимая величина общего коэффициента усиления контура компенсации, определяемая из условия устойчивости.

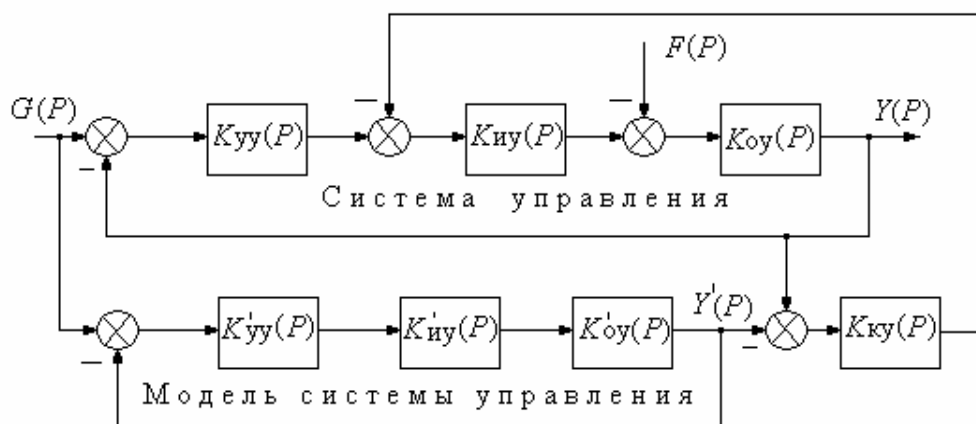


Рис.1. Структурная схема САУ с измерением возмущения по модели системы

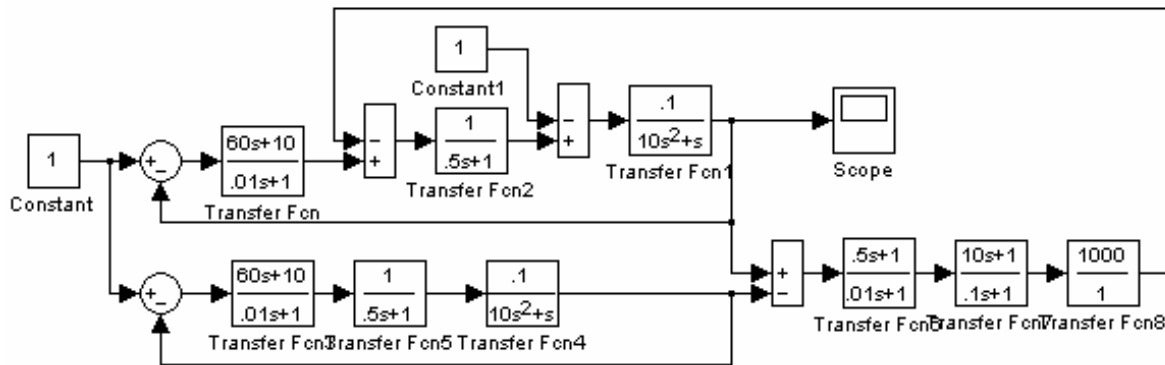


Рис.2. Схема модели системы с компенсацией возмущения в пакете Simulink

Из (5) определим передаточную функцию компенсирующего звена:

$$K_{KV}(P) = \frac{K_{\max}}{PK_{ИУ}(P)K_{ОУ}(P)} = \frac{K_{\max}(0,5P+1)(10P+1)}{0,1}$$

В таком виде звено не может быть реализовано (степень числителя не может быть выше степени знаменателя). Чтобы звено было физически выполнимо, добавляем в знаменатель две постоянные времени, которые существенно меньше постоянных времени числителя. Чтобы величина коэффициента  $K_{\max}$  было максимальным, различие в величинах постоянных времени в знаменателе должно быть по возможности наибольшим. Учитывая сказанное, принимаем передаточную функцию корректирующего звена

$$K_{KV}(P) = \frac{K_{\max}(0,5P+1)(10P+1)}{0,1(0,01P+1)(0,1P+1)} \tag{6}$$

При этом передаточная функция разомкнутого контура компенсации

$$W_{РАЗ}(P) = K_{KV}(P)K_{ИУ}(P)K_{ОУ}(P) = \frac{K_{\max}}{(0,01P+1)(0,1P+1)P}$$

Определим критическое значение коэффициента усиления контура компенсации  $K_{кр}$  из условия устойчивости. Характеристическое уравнение замкнутого контура компенсации

$$(0,01P+1)(0,1P+1)P + K_{кр} = 0.$$

Раскрыв скобки и используя критерий устойчивости Гурвица, получим  $K_{кр}=110$ . При этом коэффициент усиления компенсирующего устройства должен быть

$$K_{KV} < \frac{K_{кр}}{0,1} = \frac{110}{0,1} = 1100.$$

Система по структурной схеме рис.1 с заданными параметрами звеньев и с компенсирующим звеном (6) была промоделирована в пакете MATLAB-Simulink. Коэффициент усиления компенсирующего звена был принят равным  $K_{KV} = 1000$ . Схема модели в системе MATLAB-Simulink приведена на рис.2.

В качестве входного задающего и возмущающего воздействий приняты единичные ступенчатые функции. Результаты моделирования приведены на рис.3.

Была промоделирована также переходная характеристика исследуемой системы при отсутствии возмущающего воздействия и цепи компенсации возмущения. Результат моделирования практически полностью совпал с кривой 2 на рис.3.

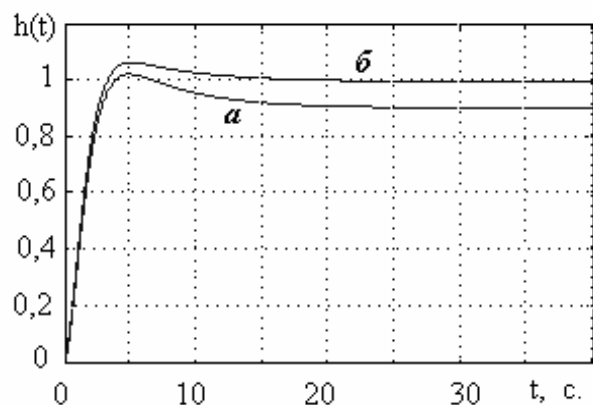


Рис.3. Результат моделирования системы для разомкнутой (а) и замкнутой (б) цепей компенсации возмущения

## Выводы

Компенсация возмущающих воздействий путем сравнения сигналов на выходе системы и на выходе модели системы с использованием разности сигналов в цепи компенсации позволяет существенно уменьшить влияние возмущений на систему управления.

## Список использованной литературы

Теория автоматического управления. Ч.1. Теория линейных систем автоматического управления / [Н.А. Бабаков, А.А.Воронов, А.А.Воронова и др.]; под ред. А.А.Воронова. – [2-е изд.] – М.: Высш.шк., 1986. – 367 с.

Получено 10.08-2011

## References

Babakov N.A., Voronov A.A., Voronov A.A. [and others]. Theory of automatic control. P.1. Theory of Linear Automatic Control Systems; ed. AA Voronov. – [2-nd ed.] – Moscow: Higher. wk., 1986. – 367 p. [in Russian].



Бобриков  
Сергей Александрович,  
доц. каф. «Компьютеризир.  
системы управления»  
Одесск.нац.политехн.ун-та  
т/д 688770



Пичугин  
Евгений Дмитриевич,  
проф. каф. «Компьютери-  
зир.системы управл.»  
Одесск.нац.политехн ун-та  
т/д 7778045