

УДК 621.378.3.023.537

РЕГУЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ С ПЕРЕМЕННЫМ ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

А.Н. ТИМОХИН

(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина)

При синтезе управляющих устройств для процессов с запаздыванием во многих случаях используют прогнозирующие блоки с постоянным временем запаздывания для его компенсации в контуре управления. Например, в [1] рассматривается вопрос построения прогнозатора Смита с помощью асимптотического наблюдателя. Переменное запаздывание можно вычислить, разделив расстояние между объектом и датчиком на текущее значение скорости, которое измеряется, например, тахогенератором. Однако можно пойти по пути, предложенному в [2], где запаздывание вычисляется специальным устройством, работающим на скользящих режимах. С этой целью можно применять и вычислитель на микропроцессоре, который восстанавливает регулируемую координату [3] с помощью обратных разностей по рекуррентному соотношению:

$$Y(i + 1) = Y(i) + \Delta^3 Y(i) + \Delta^2 Y(i) + \Delta Y(i). (1)$$

Число принимаемых обратных разностей зависит от необходимой точности восстановления координаты и от допустимого времени вычисления [3]. Если эта координата подается на вход регулятора, то запаздывание в системе регулирования ликвидируется.

Целью настоящей работы является получение сравнительных характеристик двух способов регулирования объектов с переменным запаздыванием.

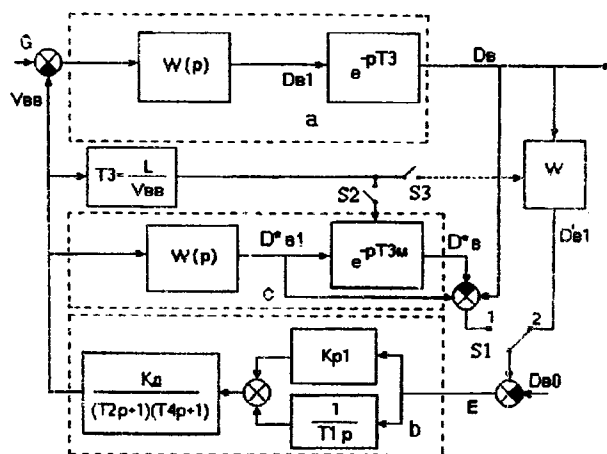


Рис. 1

На рис.1 представлена структурная схема системы регулирования диаметра оптического стекловолокна с упредителем Смита (переключатель S1 в положении 1) и с восстановлением координаты (переключатель S1 в положении 2): а – объект регулирования; b – регулятор; c – упредитель Смита; T3 – время запаздывания в объекте; T3_м – время запаздывания в модели упредителя Смита; W – вычислитель; G – возмущающее воздействие; D_в – значение диаметра волокна на выходе; D_{в1} – значение диаметра волокна без запаздывания; D_{в1}^{*} – восстановленное значение диаметра стекловолокна; D_{в0} – заданное

значение диаметра стекловолокна; $V_{ВВ}$ – регулирующее воздействие, скорость вытяжки; $Kp1, T1$ – параметры настройки регулятора.

Параметры исполнительного механизма $K_d, T2, T4$ и параметры объекта получены в результате параметрической идентификации установки И4.0091-01, предназначенной для вытяжки оптического волокна из заготовки. Нижний конец заготовки подается в зону нагрева плазменной горелки и из пластичной массы вытягивается оптическое волокно вытяжными валиками, скорость которых регулируется с целью стабилизации диаметра оптического волокна.

Приняты следующие значения параметров: $K_d=1$ м/в·с; $T3=0,12$ с; $T4=0,08$ с; $T_3=(0,2\div 0,8)$ с – запаздывание в объекте; $S2, S3$ – переключатели для моделирования постоянного или переменного вычисляемого времени запаздывания (включенное состояние).

Величина переменного времени запаздывания $T3$ вычисляется в специальном блоке путем деления расстояния L от места формирования волокна до датчика измерения диаметра волокна на скорость выпуска $V_{ВВ}$.

Моделирование выполнялось по типовой математической D-схеме. Для расчета применяли уравнения в конечных разностях. Интегрирование проводили методом прямоугольников. При возмущении по заданию, как видно из рис.1, при точном совпадении значений диаметра волокна на выходе объекта D_B и на выходе прогнозатора Смита переходный процесс будет совпадать с аналогичным в системе без запаздывания. Рассогласование составит

$$E = D_B - D_B^* + D_{B1}^* - D_{B0} = D_{B1}^* - D_{B0}. \quad (2)$$

При $D_{B1}^* = D_{B1}$ запаздывания в объекте и модели равны ($T3=T3м$). Однако добиться этого трудно, поскольку параметры модели прогнозатора Смита и объекта не совпадают.

Если прогнозатор Смита реализовать на микропроцессоре, то можно осуществить ввод изменяющегося времени запаздывания (на рис.1 переключатель $S2$ замкнут). Переменное запаздывание можно ввести и в вычислитель восстановления координаты (переключатель $S3$ при этом замкнут). При возмущении на входе объекта G в прогнозаторе Смита восстановление координаты осуществляется спустя время запаздывания, а в вычислителе, использующем конечные разности, координата будет восстановлена после четырех (в нашем случае) измерений выходной величины, чтобы вычислить три первые обратные конечные разности. Время квантования сигнала на порядок меньше времени запаздывания, поэтому регулирование с восстановлением координаты будет эффективнее упредителя Смита.

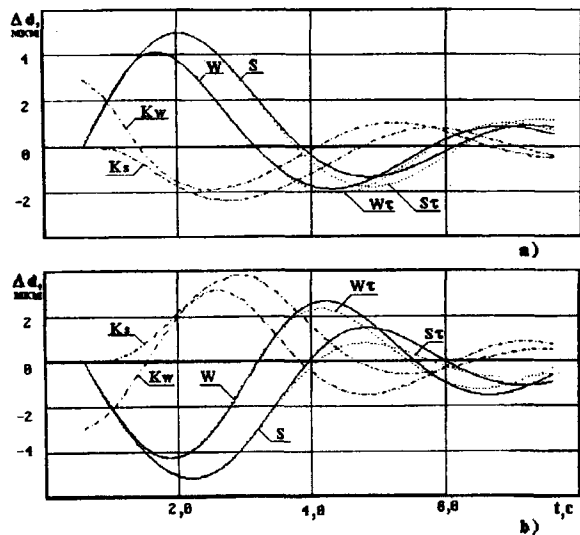


Рис. 2

На рис.2 изображены графики изменений корректирующих воздействий упредителя Смита $K_S = D_{B1}^* - D_B^*$ и вычислителя восстановления координаты $K_W = D'_{B1} - D_B$.

При возмущении на входе объекта корректирующее воздействие вычислителя восстановления координаты K_W практически на время запаздывания опережает корректирующее воздействие упредителя

Смита K_S и является более эффективным. При возмущении по заданию эти корректирующие воздействия должны совпадать, поэтому переходные процессы с упредителем Смита и с восстановлением координаты будут практически одинаковыми.

На рис.2 показаны переходные процессы при 20%-ном положительном (а) и отрицательном возмущениях (б) при одинаковых настройках регулятора с упредителем Смита (S) и с восстановлением координаты (W). Процессы с постоянным значением времени запаздывания показаны сплошной линией (W, S), а с переменным запаздыванием – пунктирной (W_τ, S_τ). По оси ординат отложены отклонения регулируемой величины от номинального значения диаметра волокна. При этом запаздывание в объекте было всегда переменным. Время запаздывания в ходе эксперимента изменялось в пределах 0,2...0,8 с. Точность восстановления координаты D_{B1} при постоянном и переменном времени запаздывания при этом отличалась на 0,2...0,5%.

Результаты эксперимента на модели системы показали, что при положительном возмущении (а) вычисляемое переменное запаздывание, вводимое в прогнозатор Смита, и вычислитель восстановления координаты даже ухудшают характеристики переходного процесса (пунктирные кривые). Причина этого, видимо, заключается в том, что при положительном возмущении скорость вытяжки увеличивается в ответ на увеличение диаметра. Время запаздывания при этом уменьшается. Если запаздывание в модели постоянно, то в этот момент оно больше, чем в объекте. Значит, время на восстановление координаты в модели больше, поэтому координата будет восстановлена с некоторым опережением, прогнозированием на будущий отрезок времени.

Формулу (2) можно записать в виде:

$$E(t) = D_B(t - T_3) - D_B^*(t - T_{3M}) + D_{B1}^*(t) - D_{B0} \quad (3)$$

Если T_3 меньше T_{3M} , то $D_B(t - T_3)$ больше $D_B^*(t - T_{3M})$, и на входе регулятора появится дополнительная положительная величина. Регулирование в этом случае будет более эффективным. При отрицательном возмущении G воздействие будет обратным. Это видно на рис.2б: переходный процесс с переменным запаздыванием (пунктирная линия) имеет меньшую амплитуду. Основываясь на этом положении, можно сделать вывод, что вычислять значение переменного запаздывания нет необходимости. Достаточно ввести в прогнозатор Смита или в вычислитель восстановления координаты наибольшее возможное в объекте время запаздывания (прогнозирование на большой отрезок времени) и эффективное регулирование будет обеспечено.

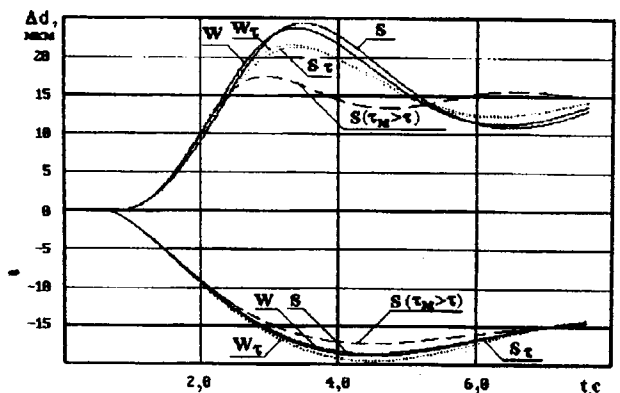


Рис. 3

Переходные процессы при возмущении по заданию представлены на рис.3. Задание по диаметру изменялось на $\Delta d = \pm 15$ мкм, параметры настроек регулятора те же. Обозначения переходных процессов с переменным и постоянным запаздыванием аналогичны обозначениям на рис.2. При возмущении по заданию переходные процессы с упредителем Смита и восстановлением координаты практически совпадают. Штрих-пунктирными линиями на рис.3 также показаны переходные процессы с упредителем Смита $S(\tau_M - \tau)$ с постоянным временем запаздывания, увеличенным по сравнению с запаздыванием в объекте на 50%. Регулирование с прогнозировани-

ВЫВОДЫ

ем (как сказано выше) оказывает положительный эффект при положительном и отрицательном возмущениях. Динамическая ошибка в обоих случаях уменьшается. Однако увеличение времени запаздывания снижает устойчивость системы, поэтому нужно предусмотреть необходимый запас по фазе и амплитуде.

Регулирование с прогнозированием особенно эффективно применять при использовании вычислителя восстановления координаты. Прогнозирование в данном случае можно сравнить с применением производной в регуляторе. Допустим, необходимо компенсировать возмущающее воздействие синусоиды $Y=\sin(\alpha)$. На выходе дифференцирующей части регулятора в этом случае будет сигнал $U=\cos(\alpha)$. Если в вычислитель восстановления координаты ввести время восстановления (прогнозирования) $\tau = \pi/2$, то сигнал на выходе регулятора будет таким же, как и в первом случае. $U = \sin(\alpha + \pi/2) = \cos(\alpha)$. В дифференцирующей части ПИД-регулятора при этом всегда между входным и выходным сигналами сдвиг по фазе $\varphi = \pi/2$. В вычислителе восстановления координаты по обратным разностям сдвиг по фазе зависит от времени восстановления и частоты восстанавливаемого сигнала, поэтому в системе регулирования с опережением необходимо предусмотреть запас по амплитуде и фазе для обеспечения устойчивости системы в различных режимах.

Положительное влияние регулирования с прогнозированием оказывается очень полезным при решении задачи регулирования объектов с переменным временем запаздывания. Достаточно ввести в прогнозатор регулятора наибольшее его значение, что соответствует наименьшей скорости процесса. Если настройки регулятора обеспечивают устойчивость системы, то качество регулирования будет лучшим. Кроме того, в этом случае исключается аппаратная реализация ввода в регулятор переменного запаздывания, что снижает стоимость системы регулирования.

1. Показано, что применение вычислителя для восстановления выходной координаты более эффективно по сравнению с регулятором Смита при возмущении по отклонению, что на практике встречается более часто.

2. Установлено, что вместо аппаратной реализации ввода переменного запаздывания в прогнозатор можно ввести наибольшее время запаздывания без ухудшения качества регулирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Староверов Б.А. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1986, №2. С.85...88.
2. Бондарев С.А. и др. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1987, №4. С.78...80.
3. Тимохин А.Н., Румянцев Ю.Д. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1999, №2. С.109...111.

Рекомендована кафедрой автоматики и промышленной электроники. Поступила 12.04.01.