Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени горного института им.Г.В.Плеханова, т./XXУШ, 1978 г.

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ С БОЛЬШИМ ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

Р.В.БЕРЕЗИН, А.О.ИВАНОВ

В последнее время к системам управления объектами и процессами с запаздыванием проявляется повышенный интерес. Это обусловлено разработкой и внедрением АСУ технологическими процессами, запаздыванием которых нельзя пренебречь, так как оно оказывает значительное влияние на функционирование системы управления. Сюда можно отнести почти все основные технологические процессы пиро- и гидрометаллургии.

Анализ работы систем управления с запаздыванием [3] показал, что при $\tau_0 / T_0 > 1$ типовые П-, ПИ-, ПИД-регуляторы не обеспечивают достаточного качества регулирования. Ставшие уже классическими методы компенсации запаздывания с помощью регуляторов Смита [6] и Ресвика [3] не дают желаемых результатов в производственных условиях по следующим причинам:

I. Оба указанных регулятора предполагают наличие в дополнительном контуре управления достаточно точной модели управляемого объекта. В настоящее время в математическом описании металлургических процессов не удается достаточно полно учесть всю сложность взаимовлияния большого количества параметров, определяющих ход технологического процесса. Приближенные модели, применяемые для выбора типа регулятора и предварительной оценки параметров его настройки, как правило, не точно отражают динамику объекта.

2. Регуляторы Смита и Ресвика требуют физической реализации элемента чистого запаздывания. Для металлургических процессов, запаздывание в которых достигает десятков минут, это уже само по себе составляет значительную трудность. Кроме того, для получения "эффекта" компенсации запаздывания необходимо точное равенство времени запаздывания модели и объекта.

Проведенные нами исследования регулятора Смита на АВМ показали, что изменение времени запаздывания объекта на 25% (что вполне может иметь место в реальных условиях) приводит к неустойчивости системы управления.

Наиболее перспективными направлениями в разработке специальных типов регуляторов для объектов с большим запаздыванием являются исследования регуляторов с элементами запаздывания и переменной структурой. Оба этих направления нашли отражение в работах, проводимых на кафедре печей ЛПИ.

Так, были разработаны алгоритмы, учитывающие предысторию регулируемого параметра на конечном интервале времени. Для одного из таких алгорит-

мов, названного ПИ-разностным, регулирующее воздействие формируется суммированием сигналов, прошедших пропорциональный и интегрирующий каналы. Причем из интегрируемого сигнала вычитается этот же сигнал, имевший место в прошлом. Испытания на АВМ и на ЦВМ "Минск-32" показали, что ПИ-разностный алгоритм позволяет уменьшить среднеквадратическую ошибку на 30% по сравнению с типовыми регуляторами. ПИ-разностный регулятор был успешно испытан на Павлодарском алюминиевом заводе и Пикалевском объединении "Глинозем".

Вопросы применения регуляторов с переменной структурой достаточно полно освещены в литературе [1,2,4] Приведем лишь некоторые выводы, послужившие предпосылками для наших исследований в этой области:

1. Регуляторы с переменной структурой обладают низкой параметрической чувствительностью, что обуславливает возможность их применения для управления металлургическими процессами.

2. Как показали исследования, законы переключения регуляторов с переменной структурой, предназначенных для управления инерционными объектами без чистого запаздывания, прямо противоположны законам переключения регуляторов для объектов, обладающих лишь чистым запаздыванием. Это создает значительные трудности при аналитическом синтезе регуляторов с переменной структурой, предназначенных для объектов, обладающих как инерционным, так и чистым запаздыванием.

3. Аналитический синтез законов переключения приводит к весьма сложным зависимостям. Попытки же внести в законы переключений элементы самонастройки еще больше усложняют алгоритм управления. Реализация таких алгоритмов на стандартных элементах, как правило, невозможна, а при использовании УВМ требуется значительный объем памяти. В то же время преимущества таких "вычурных" алгоритмов перед некоторыми элементарными законами переключений в реальных производственных условиях далеко не всегда очевидны.

Именно последнее соображение привлекло внимание авторов к идее полупостоянного регулирования, высказанной В.Фернером [7] Сущность этого метода заключается в следующем: регулятор начинает действовать только тогда, когда значение регулируемой величины удаляется от заданного, и не предпринимает никаких действий, если оно приближается к заданному. В настоящее время идея полупостоянного регулирования воплощена лишь в самом элементарном варианте полупропорционального регулятора [5,8]

Авторами был предложен и исследован регулятор смешанного пропорционального-полуинтегрального типа (ПШИ-регулятор). В отличие от обычного ПИ-регулятора ПШИ-регулятор действует по следующему закону:

$$\mu(t) = K_p \Delta(t) + \frac{1}{T_и} \int_0^t \Delta(t)\, dt \qquad \text{при} \quad \Delta\dot{\Delta} \geq 0$$

$$\mu(t) = K_p \Delta(t) \qquad \text{при} \quad \Delta\dot{\Delta} < 0$$

Отключение интегрирующей части в момент, когда отклонение регулируемой величины от заданного достигает максимума, форсирует переходный процесс и уменьшает колебательность системы. Включение интегрирующей части при $\Delta\dot{\Delta} \geq 0$ обеспечивает отсутствие в системе статической ошибки.

ПШИ-регулятор исследовался в системе автоматического управления объектом первого порядка с запаздыванием

$$W_0 = \frac{K_0 e^{-\tau_0 p}}{T_0 p + 1}$$

Определялись режимы работы при различных параметрах настроек, а также влияние изменения объекта на режим работы регулятора и качество регулирования

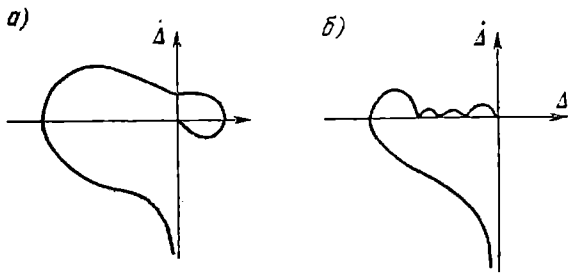


Рис. 1. Режимы работы ПИИ-регулятора в зависимости от параметров настроек: а - переключений; б - квазискользящий

Исследования показали, что в зависимости от параметров настройки регулятор может работать в режиме переключений или в квазискользящем режиме. Режим работы определяется выбором постоянной времени $T_И$ регулятора. Существует критическое значение $T_{И\,кр} = f(K_0, T_0, \tau_0)$, обеспечивающее граничный апериодический процесс, характеризуемый минимальным временем регулирования. При $T_И < T_{И\,кр}$ регулятор работает в режиме переключений (рис. I,а), а при $T_И > T_{И\,кр}$ - в квазискользящем режиме (рис. I,б).

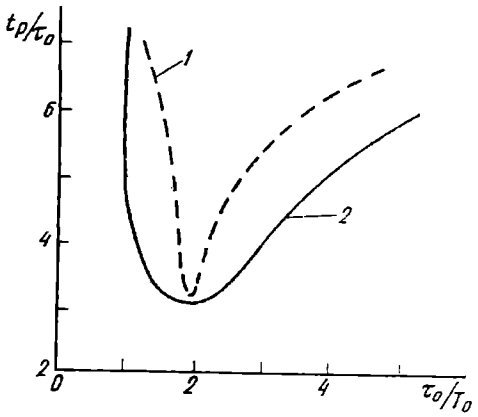


Рис. 2. Относительное время регулирования в зависимости от величины τ_0/T_0 объекта
1 - ПИ-регулятор; 2 - ПИИ-регулятор

При заданной настройке изменение отношения τ_0 / T_0 объекта также приводит к перемене режима работы регулятора (рис. 2). Параметры настройки обоих регуляторов выбирались из условия обеспечения минимального времени регулирования при $\tau_0/T_0 = 2$. Установлено, что параметрическая чувствительность ПИИ-регулятора гораздо ниже, чем ПИ-регулятора, что обуславливает возможность его применения в системах автоматического управления объектами с переменными параметрами. Испытания ПИИ-регулятора на моделях промышленных объектов (трехкорпусные и шестикорпусные выпарные батареи Пикалевского объединения "Глинозем") подтвердили приведенные в статье выводы о низкой параметрической чувствительности описываемого алгоритма и убедительно показали целесообразность внедрения ПИИ-алгоритма на металлургических предприятиях.

Проведены промышленные испытания ПИИ-регулятора в системе автоматического управления печами спекания Пикалевского объединения "Глинозем". Следует отметить, что разработанный алгоритм впервые позволил получить удовлетворительное качество автоматического управления печами в течение длительного времени. Регулятор находится в опытной эксплуатации.

Литература

Березовец Г.Т., Берендс Т.К., Гришенко А.З. – В кн.: Пневмоавтоматика. М., Наука, 1972, с. 124–127.

2. Буровой И.А., Каневский В.Л., Штеренберг Е.И. – Автоматика и телемеханика, 1973, №5, с. 47–53.

3. Гурецкий Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием. М., Машиностроение, 1974.

4. Емельянов С.В. Теория систем с переменной структурой. М., Наука, 1970.

5. Круг Е.К., Александриди Т.М., Диличенский С.Н. Цифровые регуляторы. М., Энергия, 1936.

6. Смит О.Дж.М. Автоматическое регулирование. М., Физматгиз, 1962.

7. Фернер В. Пневматические приборы низкого давления. М., Мир, 1964.

8. Шигин Е.К. – Автоматика и телемеханика, 1966, №6, с. 72–81.