

УДК 681.5 : 62.5

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ С ИДЕНТИФИКАЦИЕЙ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

А.Ю. Владова

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: avladova@mail.ru

Ю.Р. Владов

Оренбургский научный центр УрО РАН
Россия, 460000, Оренбург, Пионерская ул., 11
E-mail: urvladov@rambler.ru

Ключевые слова: управление, ПИД-контроллер, идентификация, динамические параметры, технологический объект, прогнозируемая составляющая.

Аннотация: Разработка относится к области управления технологическими объектами (ТО) крупных промышленных комплексов в нефтегазовой промышленности, преимущественная область применения - управление инерционным ТО с неизвестными динамическими параметрами. Цель – повышение эффективности управления и функционирования ТО за счет идентификации его динамических параметров и введения в управляющее воздействие прогнозируемой составляющей. На первой стадии ТО измеренные значения технологического параметра нормируют и по его значениям находят моменты времени, с учетом которых идентифицируют величины транспортного запаздывания и постоянной времени, а затем определяют прогнозируемое значение технологического параметра. Управляющее воздействие формируют путем алгебраического сложения основной и прогнозируемой составляющих. В результате повышается качество и эффективность управления автоматизированным комплексом.

1. Состояние проблемы

Актуальность проблемы подтверждена числом международных патентов в данной области, полученных с 2002 по 2015 г. С помощью отечественной системы патентного поиска и анализа информации Exactus Patent, обеспечивающую качественную поддержку русского языка, выделено более 24 тыс. патентов, выданных в странах, разрабатывающих данную проблематику (КНР, США, Россия, Япония, Германия и др. Выявлена динамика патентования изобретений, полезных моделей и промышленных образцов в этой области, отображенная полиномиальным уравнением 3 степени.

2. Патентный анализ

Выделены из найденных патентов те изобретения, которые могут служить аналогами предложенных технических решений. Известен способ управления динамическими объектами с приложенными к ним внешними возмущениями по заданным показате-

лям качества путем формирования управляющего воздействия на основе результатов сравнения задающего воздействия и суммы значений измеренных переменных состояния объекта, дополненной значениями переменных, измеренных непосредственно за точками приложения возмущений [1]. Основным недостатком – отсутствует возможность идентифицировать динамические параметры и учесть прогнозное изменение технологического параметра.

Известен способ управления технологическим объектом, по которому формируют задание и измеряют регулируемый параметр технологического объекта, определяют отклонение регулируемого параметра от задания и скорость отклонения, а затем формируют периодически с периодом, равным сумме времени запаздывания и постоянной времени объекта, управляющее воздействие [2]. Недостаток - ограниченные функциональные возможности, т.к. управляющее воздействие формируется без учета прогнозной составляющей, характеризующей дальнейшее изменение технологического параметра.

Более близким техническим решением является способ идентификации действующих объектов в системе управления, в соответствии с которым оценивают статистические ошибки прогнозирования и регулирования, наносят пробное испытательное воздействие, фиксируют траектории изменения выходных переменных во времени, оценивают динамические характеристики исследуемых каналов регулирования. Причем, для объектов, обладающих свойствами самоорганизации, и систем управления с пониженной устойчивостью, состояния идентифицируют как в данный, так и в предыдущих моментах времени, причем испытательные воздействия наносят в направлении, способствующему улучшению состояния систем [3]. Недостаток - необходимость нанесения пробных испытательных воздействий при управлении, что существенно ограничивает возможности данного способа для большинства ТО. В [4] рассмотрены разнообразные случаи компьютерного управления на основе контроллеров с различными законами регулирования, анализ которых также убеждает в ограниченности функциональных возможностей. Поставлена цель - повысить эффективность управления и функционирования ТО за счет идентификации его динамических параметров и введения в управляющее воздействие прогнозируемой составляющей.

3. Система автоматического управления

3.1. Функциональная схема

Реализация цели потребовала разработку системы автоматического управления (САУ) [5, 6]. Полная функциональная схема САУ ТО включает в себя 22 блока (рис. 1), но первые 8 не отображены в виду их очевидности: 1 – задающий элемент; 2 – элемент сравнения; 3 – ПИД-контроллер; 4 – блок выработки управляющего воздействия; 5 – блок нахождения прогнозной составляющей; 6 – алгебраический сумматор; 7 – технологический объект со встроенным исполнительным механизмом и 8 – датчик. На рис. приведен фрагмент этой схемы, отображающий идентификацию динамических параметров и выработку суммарного управляющего воздействия с прогнозируемой составляющей.

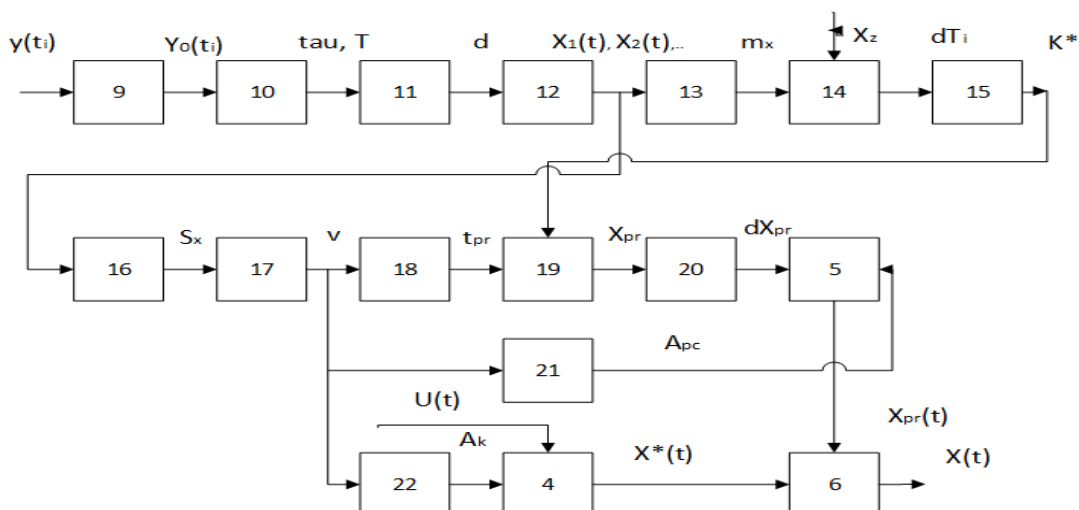


Рис. 1. Фрагмент функциональной схемы с идентификацией динамических параметров и формированием суммарного управляющего воздействия.

3.2. Идентификация динамических параметров

Для идентификации динамических параметров предусмотрен блок обработки разгонной характеристики (9). Измеренные значения технологического параметра нормируют для учета начального значения технологического параметра, а также снижения погрешностей при преобразовании сигналов. Нормирование осуществляют в соответствии с известным выражением [5, 6], в котором: $y^0(t_i)$ - нормированное значение технологического параметра в момент времени t_i ; $y(t_i)$ - текущее значение технологического параметра в момент времени t_i ; $y(t_0)$ - значение технологического параметра в начальный момент времени t_0 ; y_n - номинальное значение технологического параметра.

Блок 10 служит для определения динамических характеристик ТО. Он позволяет идентифицировать величину транспортного запаздывания τ в соответствии с известным выражением [5, 6], в котором: t_1 - время, соответствующее 0,15 номинального значения технологического параметра y_n^0 ; t_2 - время, соответствующее 0,85 номинального значения технологического параметра y_n^0 ; y_1^0 - значение технологического параметра в момент времени t_1 ; y_2^0 - значение технологического параметра в момент времени t_2 . В этом же блоке определяется постоянная времени T технологического объекта также по известному выражению [5, 6].

3.3 Прогнозная составляющая

В блоке (11) определяется дискретность измерения технологического параметра d . Он предназначен для нахождения элементарной доли в виде одной сотой постоянной времени T , как достаточно малой величины и в то же время обеспечивающей репрезентативность выборки измеренных значений технологического параметра. В блоке (12) измеряют значения технологического параметра $x_1(t), x_2(t), \dots, x_n$ с найденной дискретностью d . Блок (13) позволяет определить математическое ожидание. Блок (14) определяет разность между математическим ожиданием m_x и заданным значением x_z технологического параметра с принятым пороговым значением ϵ_{por} . Как только разность достигает порогового значения, то определяют интервал времени измерения dT_i . В блоке (15) по соответствующему выражению определяют тенденцию k^* , а в блоке (16) определяют статистические параметры и, прежде всего, стандартное отклонение s_x с учетом n измеренных значений технологического параметра.

Далее в блоке (17) определяют коэффициент изменчивости v технологического параметра и в блоке (18) – время прогнозирования t_{pr} технологического параметра, которое находят по полиномиальной зависимости от коэффициента изменчивости v с коэффициентами аппроксимации: a_0 , a_1 , a_2 , a_3 , подобранными для конкретного ТО. Прогнозное значение x_{pr} технологического параметра определяют в блоке (19) как произведение k^* и t_{pr} .

Отклонение между прогнозным и заданным значениями технологического параметра определяют в блоке (20), а весовые коэффициенты составляющих управляющего воздействия A_{pc} в блоке (21), а A_k в блоке (22). Представленные на рис. 1 блоки 4, 5 и 6 взяты из функциональной схемы САУ. Формирование управляющего воздействия от контроллера осуществляют в блоке (4) как произведение соответствующего весового коэффициента АК на текущее значение выходного сигнала контроллера $u(t)$, а формирование прогнозной составляющей в виде произведения найденного весового коэффициента прогнозной составляющей A_{pc} на величину прогнозного отклонения dx_{pr} реализуют в блоке (5). И, наконец, формирование управляющего воздействия на исполнительный механизм ТО $x(t)$ производят в блоке (6) в виде алгебраической суммы двух составляющих: основной и прогнозной.

3.4. Пример реализации

Для ТО в виде печи подогрева газов регенерации на установке производства серы построена САУ температуры с идентификацией динамических параметров и прогнозирующим управляющим воздействием. На первой стадии технологического процесса осуществляют подогрев газов регенерации до номинального значения $y_n=658^\circ\text{C}$, а на последующих - функционирование печи в рабочем режиме с поддержанием заданного значения температуры газов регенерации $x_2 = 650^\circ\text{C}$. Измеренные значения технологического параметра нормируют. По нормированным значениям температуры $y_1^0 = 0,15$ и $y_2^0 = 0,85$ определяют соответствующие моменты времени, которые составили: $t_1=24$ мин и $t_2=83$ мин. Затем по выражению (2) с округлением до ближайшего большего значения идентифицируют величину транспортного запаздывания: $\tau = 19$ мин., а по выражению (3) идентифицируют постоянную времени ТО: $T = 40$ мин. Элементарная дискретность измерения d составила 1 мин. Измерения температуры газов регенерации в печи подогрева $Q(t_i)$ производят с найденной элементарной дискретностью.

По мере изменения температуры газа регенерации определяют математическое ожидание. Значение температуры в реакторе измеряют до тех пор, пока $e = \frac{m_x - x_z}{x_z}$ не станет меньше принятого порогового значения в 1 %. Далее определяют интервал времени измерения dT_i , равный 7 мин. Рассчитывают диапазон времени прогнозирования $dT_{pr} = 33$ мин. Определяют стандартное отклонение $s_x = 13,7\%$, а затем вычисляют коэффициент изменчивости технологического параметра $v = 0,21$. По полиномиальной зависимости вида $t_{pr} = 19,08 - 26,02 \cdot v + 3,504 \cdot v^2 - 0,157 \cdot v^3$, с учетом вычисленного коэффициента изменчивости $v = 0,21$, находят значение времени прогнозирования t_{pr} , которое составит 14 мин, в пределах диапазона времени прогнозирования $dT_{pr} = 33$ мин. По полиномиальной зависимости $A_{pc} = 0,727 - 0,529 \cdot v + 0,059 \cdot v^2 - 0,002 \cdot v^3$ с учетом вычисленного коэффициента изменчивости находят весовой коэффициент прогнозной составляющей $A_{pc} = 0,61$, тогда весовой коэффициент для управляющего воздействия от контроллера составит $A_k = 0,39$. Вычисляют тенденцию $k^* = 94$ град/мин, а затем определяют прогнозное значение технологического параметра $x_{pr} = 1313^\circ\text{C}$, затем определяют прогножное отклонение $dx_{pr} = 663^\circ\text{C}$. Формируют в алгебраическом сумматоре (блок 6) управляющее воздействие $x(t)$ как алгебраическую сумму: $x^*(t) = 1086^\circ\text{C}$ и $x_{pr}(t) = 404^\circ\text{C}$.

3.5. Имитационное моделирование

Разработанная модель САУ температуры газов регенерации в печи подогрева при подаче на вход случайного сигнала от генератора с заданными значениями математического ожидания и стандартного отклонения, реализована в интегрированной среде визуального моделирования (VisSim). Для управления использован контроллер с ПИД-законом регулирования, а для оценки качества управления - нормированный квадратичный интегральный критерий J^2 , также реализованный в интегрированной среде. Имитационное моделирование работы САУ проведено с подачей на вход случайного сигнала при одинаковых значениях математических ожиданий и стандартных отклонений. В результате получены два временных графика изменения температуры газов регенерации. Первый - при работе САУ с управляющим воздействием на ПИД-контроллере без прогнозной составляющей. Значение нормированного квадратичного интегрального критерия качества составило $J_1^2 = 0,79$, Второй - при работе САУ с идентификацией динамических параметров и выработкой управляющего воздействия по двум составляющим. Значение соответствующего интегрального критерия составило $J_2^2 = 0,57$. Определены также отклонения от заданного x_z значения температуры для первого и второго вариантов, величины которых составили 16 и 10 °С соответственно.

4. Заключение

Общим недостатком большого количества САУ с ПИД-контроллером является ограниченные функциональные возможности из-за незнания динамических параметров ТО как объекта управления и не учета тенденций изменения технологических параметров. В соответствии с полученными патентами на изобретение расширение функциональных возможностей САУ достигнуто за счет идентификации динамических параметров и введения прогнозируемой составляющей при формировании управляющего воздействия. Указанное направление является важной составляющей обустроенного авторами современного научного направления «Технологии интеллектуального управления состоянием техногенно-природных объектов».

Список литературы

1. Пат. 2261466 РФ, МПК G05B 11/01. Способ управления динамическими объектами по заданным показателям качества // Тарарькин С.В., Тютиков В.В., Котов Д.Г., Варков Е.А.; № 2003113297/09; заявл. 05.05.2003; опубл. 27.09.2005, Бюл. № 27. 10 с.
2. Пат. 2017196 РФ, МПК G05B 11/00 Способ управления технологическим объектом // Костокрыз П.В.; № 4716278/24; заявл. 03.05.1989; опубл. 30.07.1994. 8 с.
3. Пат. 2277259 РФ, МПК G05B 13/04 и 23/00. Способ идентификации действующих объектов в системах управления // Веревкин В.И., Зельцер С.Р., Галицкая Л.В., Лизогуб П.П.; № 2004135154; заявл. 01.12.2004; опубл. 27.05.2006, Бюл. № 15. 5 с.
4. Денисенко, В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. М.: Горячая линия – Телеком, 2009. 608 с.
5. Vladov Yu.R., Vladova A.Yu. Two-stage workflow control witch a predictive component // IFAC-PapersOnLine, 2018. Vol. 51, No. 32. P. 712-716.
6. Vladov Yu.R., Vladova A.Yu. Control Signals of a Predictive Industrial PID Controller // Russian Engineering Research. 2018. Vol. 38, No. 5. P. 399–402. <https://link.springer.com/article/10.3103%2FS1068798X18050210>.