

Рис. 3. Микроструктура характерных зон (А, Б, В, Г, Д) в плоскостях, параллельных внешней поверхности

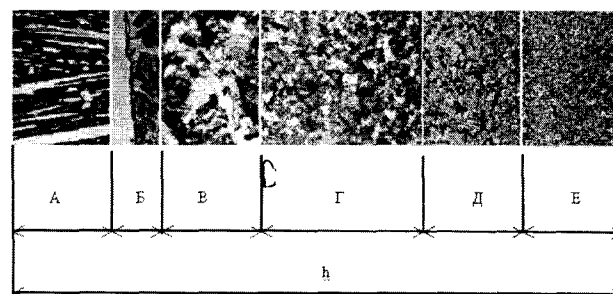


Рис. 4. Микроструктура характерных зон (А, Б, В, Г, Д) в плоскости, перпендикулярной внешней поверхности

ЛИТЕРАТУРА

1. Машиностроение. Энциклопедия. Ред. совет: Фролов К.В. и др. – М.: Машиностроение. Сельскохозяйственные машины и оборудование. Т. IV – 16/ И.П. Кseneвич, В.П. Варнаков, Н.Н. Колчин и др.; Под ред. И.П. Кseneвича. 2002. – 720 с.

2. Ткачев В.Н. Работоспособность деталей машин в условиях абразивного изнашивания. – М.: Машиностроение, 1995. – 336с.

3. Бетень Г.Ф. Восстановление и упрочнение почворезущих элементов диффузионным намораживанием износостойкими сплавами. – Мн.: УО БГАТУ, 2003. – 188 с.

4. Технология, оборудование, автоматизация, неразрушающий контроль процессов нагрева и упрочнения деталей на машиностроительных предприятиях: Сб. науч.

трудов./ Под ред. П.С. Гурченко. – Мн.: УП Технопринт, 2002. – 163с.

5. Conit, Rabid and Rabedur Rabewerk – Entwicklungen mit Höchster Materialqualität / Anbau - Drehpflüge / 1994. № 7, с. 26...27.

6. Landmaschinenwelt «97/98». Technische Anbeningen, Vorbehalten, 1997. – 181ñ.

7. Бернштейн Д.Б., Лискин И.В. Лемехи плугов. Анализ конструкций, условий изнашивания и применяемых материалов. Обзорн. информ. – М.: ЦНИИТЭИ тракторосельхозмаш, 1992. – 36 с. (сер. 2. Сельскохозяйственные машины и орудия; вып. 3).

8. Материалы, технология и оборудование для упрочнения и восстановления деталей машин; Тематический сборник / Под общ. ред. П.А. Витязя, С.А. Остапчика. – Мн.: УП Технопринт, Новополоцк, ПГУ, 2003. – 390 с.

УДК 62.529

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ЦИФРОВЫХ РЕГУЛЯТОРОВ

**Ю.А. Сидоренко, к.т.н., старший научный сотрудник
(УО БГАТУ)**

К настоящему времени в мировой практике завершен переход от аналоговых электрических регулирующих блоков к цифровым, реализованным на базе микропроцессоров.

Особенностью цифровых управляющих устройств является дискретизация сигналов по уровню и времени. При этом непрерывный сигнал заменя-

ется дискретным, в результате чего происходит потеря части информации, что может существенно повлиять на работу регуляторов. С другой стороны, при большой частоте квантования и большом количестве уровней дискретизации высокочастотные составляющие сигнала сглаживаются объектом управления и при определенных условиях дискретизация

может не оказать существенного влияния на работу системы и не учитываться при исследовании систем путем моделирования на ЭВМ.

Вопрос об учете влияния дискретизации по времени может быть решен на основе импульсной теоремы Котельникова.

В соответствии с этой теоремой, если сигнал не содержит частот выше, чем ω_g , он полностью описывается своими значениями, измеренными в дискретные моменты времени с интервалом $\Delta t = \pi / \omega_g$.

Системы регулирования являются замкнутыми системами с управлением по ошибке. При этом измеряется регулируемая величина. Поэтому теорема Котельникова может быть применена к выходному сигналу объекта (регулируемой величине) и анализ выполнен на основании исследования частотных свойств объекта. Если объект по управляющему воздействию существенно ослабляет сигнал с частотой выше верхней граничной частоты ω_g , то дискретизация сигнала по времени в регулирующем блоке может не учитываться.

Обычно в качестве ω_g принимается частота, на которой амплитуда сигнала ослабляется в 20 и более раз. Тогда на этой частоте амплитудная частотная характеристика $A(\omega) = 0,05K$, где K -коэффициент передачи объекта.

Рассмотрим такой пример.

В регуляторе МТ2141 ОДО «Микротерм» период дискретизации по времени составляет 0,125с. Тогда верхняя граничная частота для этого регулятора

$$\omega_g = \frac{\pi}{\Delta t} = \frac{\pi}{0,125} = 25 \text{ с}^{-1}.$$

Пусть объект регулирования приблизительно описывается апериодическим звеном 1-го порядка:

$$W(p) = \frac{K}{Tp + 1};$$

$$A(\omega) = \frac{K}{\sqrt{1 + (T\omega)^2}}.$$

Примем

$$A(\omega_g) = \frac{K}{\sqrt{1 + (T\omega_g)^2}} = 0,05K.$$

Тогда $T=0,8$ с, что является очень малой величиной для подавляющего большинства сельскохозяйственных объектов, в том числе связанных с тепловыми процессами. Составляющие с частотами 25 с^{-1}

подавляются уже датчиками с постоянными времени порядка десятков секунд.

Современные цифровые управляющие устройства обеспечивают число уровней дискретизации не менее 255 (при 8-разрядном АЦП). Обычно это число в десятки раз выше, поэтому дискретизацию по уровню, как правило, не учитывают.

Наибольшей проблемой является моделирование регулирующих блоков с приближенной реализацией типовых линейных законов регулирования с релейным выходом на исполнительное устройство. Для изменения величины управляющего воздействия на объект в зависимости от ошибки используются широтно-импульсная модуляция выходного сигнала и шаговая модуляция.

Идея широтно-импульсного регулирования заключается в формировании на выходе регулирующего блока импульсного сигнала с постоянным периодом T и длительностью импульса τ , формирующегося в зависимости от ошибки системы. При ПИД-законе – пропорционально ошибке, пропорционально интегралу ошибки и пропорционально производной ошибки.

Широтно-импульсная модуляция управляющего воздействия применяется для объектов, снабженных регулирующими устройствами типа двухпозиционных клапанов или, например, электрических нагревательных элементов.

Во взятом нами для примера регуляторе МТ2141 максимальное управляющее воздействие, когда $\tau = T$ принято считать равным 100%. Тогда при моделировании ШИМ длительность импульса должна быть

$$\tau = \frac{TX_y}{100}; \tau \leq T,$$

где X_y - управляющее воздействие на объект в % от максимального управляющего воздействия.

С учетом сведений, полученных от разработчиков, об особенностях регулятора МТ2141, его структурная схема, без учета дискретизации, имеет вид, представленный на рисунке 1. Параметрами настройки регулятора являются Pb – зона пропорциональности; $T_{И}$ – постоянная интегрирования; $T_{Д}$ - постоянная дифференцирования; $2B$ – ширина зоны нечувствительности; T – период импульсного сигнала на выходе регулирующего блока. Задаются также постоянная времени фильтра T_{ϕ} и условный ноль сигнала X_{yp} .

При моделировании коэффициент передачи датчика принимаем равным 1, поскольку в блоке ошибка представлена в натуральном масштабе. При мо-

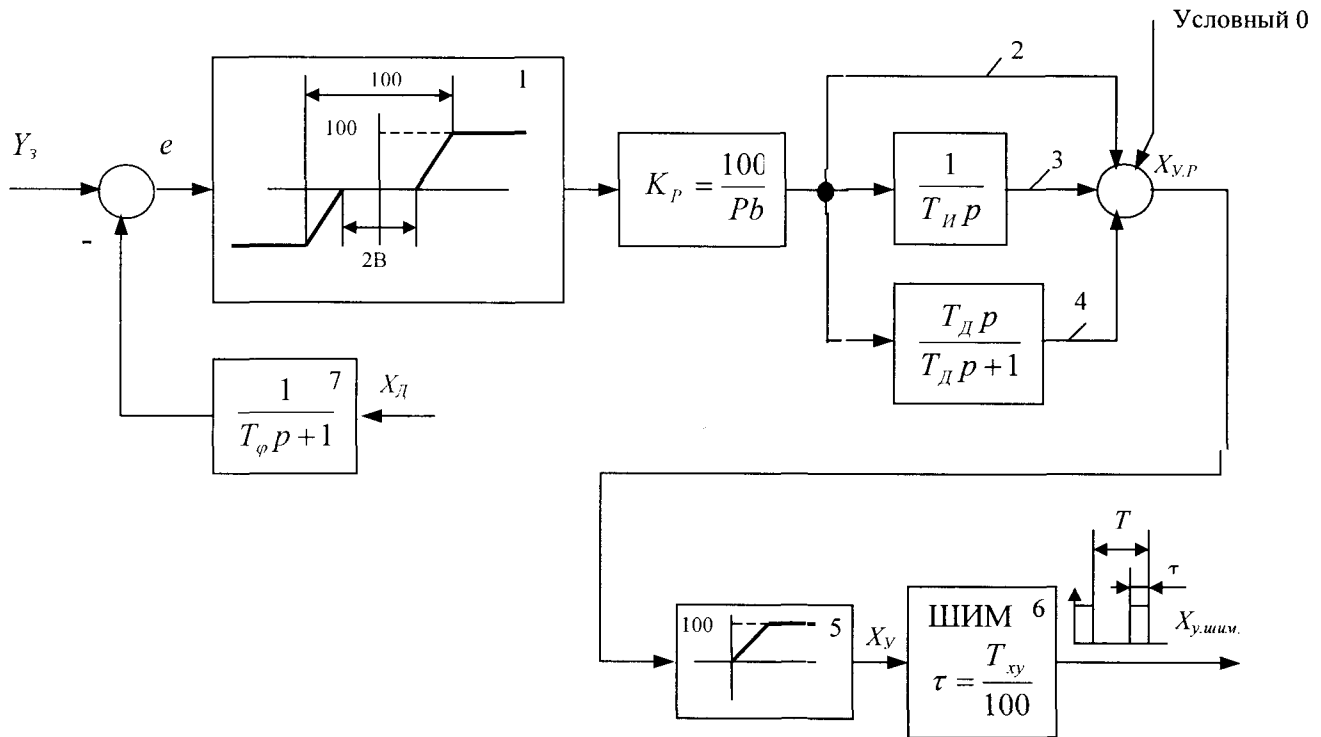


Рис. 1. Структурная схема регулятора температуры МТ 2141 без учета дискретизации по времени и уровню (кроме ШИМ): 1 – звено типа зона нечувствительности с ограничением; 2 – пропорциональный канал регулирования; 3 – интегральный канал регулирования; 4 – дифференциальный канал регулирования; 5 – звено типа ограничение; 6 – широтно-импульсный модулятор; 7 – фильтр; X_d – сигнал датчика; Y_3 – заданное значение регулируемой величины; e – ошибка; $X_{y,p}$ – управляющее воздействие в % от максимального управляющего воздействия; $X_{y,ш.м.}$ – сигнал с широтно-импульсной модуляцией

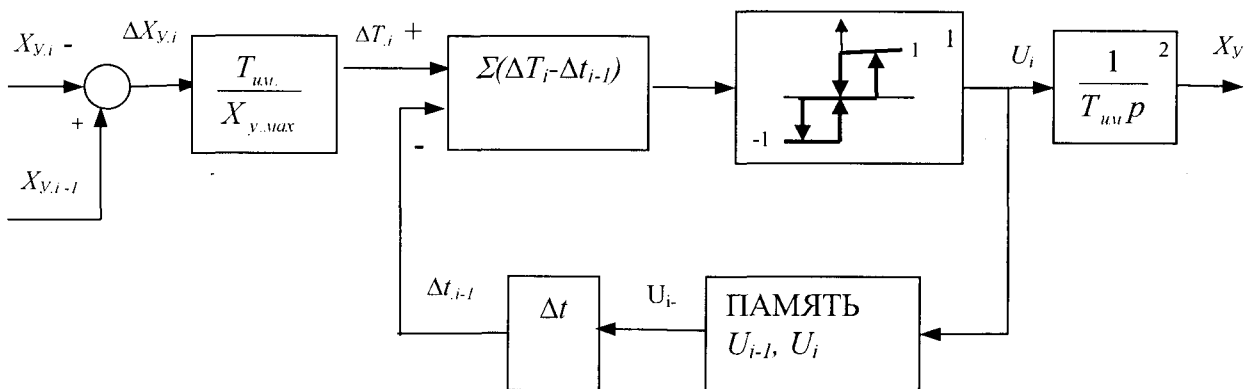


Рис. 2. Структурная схема цифрового шагового модулятора с исполнительным механизмом: $X_{y,i}$, $X_{y,i-1}$ – расчетные управляющие воздействия на объект на i -ом и $i-1$ шаге; ΔT_i – время включения на i -ом интервале дискретизации; 1 – релейный элемент с зонами неоднозначности, обеспечивающими минимальное время включения исполнительного механизма; U_i , U_{i-1} – управляющий сигнал на исполнительный механизм на i -ом и $i-1$ шаге; Δt – шаг дискретизации по времени регулятора; Δt_{i-1} – время перемещения исполнительного механизма на $i-1$ шаге; X_y – перемещение исполнительного механизма; 2 – интегрирующее звено, описывающее исполнительный механизм, при условии, если его полный ход принят равным 1

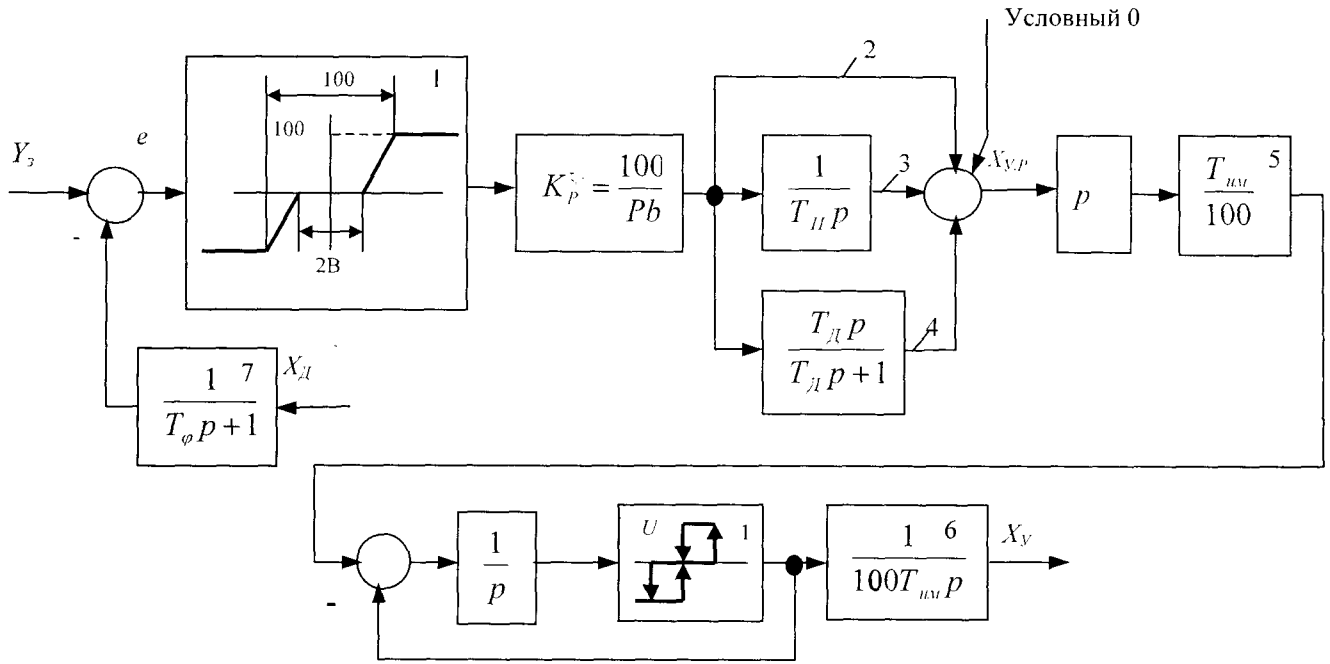


Рис. 3. Структурная схема регулятора температуры МТ 2141 без учета дискретизации по времени и уровню с шаговым модулятором и интегрирующим исполнительным механизмом постоянной скорости

делировании ограничения в блоках 1 и 5 (рис.1) можно задать равными 1, тогда $Kp = 1/P_b$, $\tau = TX_y$.

Шаговая модуляция используется в случаях применения исполнительного механизма постоянной скорости. Идея шагового модулятора заключается в следующем.

Рассчитывается приращение управляющего воздействия на объект за интервал дискретизации по времени цифрового регулятора, затем рассчитывается время включения исполнительного механизма постоянной скорости, обеспечивающие его перемещение для формирования приращения управляющего воздействия:

$$\Delta T_i = \frac{T_{ин}}{X_{y,max}} \cdot \Delta X_{y,i},$$

где ΔT_i - время перемещения на i -том интервале дискретизации; $T_{ин}$ - время полного хода исполнительного механизма; $X_{y,max}$ - максимальное управляющее воздействие на объект при полном ходе исполнительного механизма; $\Delta X_{y,i}$ - приращение управляющего воздействия на i -том интервале.

Исполнительный механизм нецелесообразно и невозможно включать на каждом интервале дискретизации. Поэтому ΔT_i суммируются с целью накопления достаточного времени.

Структурная схема цифрового шагового модулятора с исполнительным механизмом приведена на рисунке 2.

На рисунке 3, к примеру, приведена структурная схема регулятора МТ2141 с шаговым модулятором без учета дискретизации сигнала, что позволяет моделировать регулятор на ЦЭВМ с применением программ, имитирующих набор типовых звеньев.

Если при моделировании максимальное управляющее воздействие принять равным 1, то в структурной схеме звена 1 ограничение примет значение,

равное 1, $Kp = \frac{1}{Pb}$, в звене 5 коэффициент станет

равным $T_{ин}$, в передаточной функции исполнительного механизма 6 в знаменателе исчезнет число 100.

Полученные результаты и рекомендации позволяют проводить синтез систем автоматического регулирования путем моделирования на ЭВМ с учетом реальной структуры цифровых регуляторов, что существенно повышает точность синтеза.