

Министерство образования и науки Российской Федерации
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники
(ТУСУР)

Кафедра электронных средств автоматизации и управления (ЭСАУ)

«Утверждаю»
зав. каф. ЭСАУ
д-р техн. наук, проф.
А.Г. Гарганеев
«02» февраля 2012 г.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

Учебно-методическое пособие
к практическим работам

Составитель:

канд. техн. наук, доц. каф. ЭСАУ

В.С. Шидловский

Томск – 2012

Автоматизация технологических процессов и производств: Учебно-методическое пособие к практическим работам. – Томск: Томский гос. университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 28 с.

В пособии рассматриваются практические аспекты решения информационных задач АСУ ТП, непосредственного цифрового управления. Приведены задания на выполнения практических занятий, примеры решений.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальности 220301 – «Автоматизация технологических процессов и производств (в приборостроении)».

Содержание

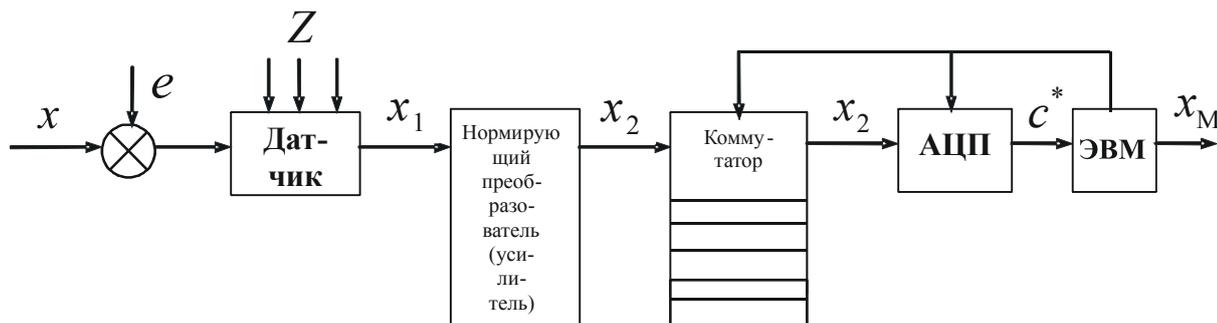
Практическая работа № 1.	
Первичная обработка информации в УВМ.	
Определение разрядности представления информации.....	4
Практическая работа № 2.	
Определение частоты опроса измерительных преобразователей	9
Практическая работа № 3.	
Непосредственное цифровое управление	14
Список рекомендуемой литературы.....	26

Практическая работа № 1

ПЕРВИЧНАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ В УВМ.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗРЯДНОСТИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Схема информационно-измерительного канала (ИИК)



Здесь x - измеряемый параметр; e - помеха; Z - вектор влияющих величин; x_1 - сигнал на выходе датчика; x_2 - сигнал на выходе нормирующего преобразователя (усилителя); c^* - код на выходе АЦП; x_M - “машинное” значение параметра.

По разделу 1 занятия

Дано:

- а) диапазон измерения параметра;
- б) точность измерения.

Требуется:

определить необходимую разрядность АЦП.

Пример:

Измеряется температура в диапазоне 0-200 °С с точностью до 0.1 °С.

Определить необходимую разрядность АЦП.

Решение:

Относительная погрешность измерения

$$\Delta = \frac{0.1^{\circ}C}{200^{\circ}C} = 0.0005 .$$

Относительная величина шага квантования по уровню в АЦП

$$\Delta_{\text{КВ}} = \frac{1}{2^r - 1},$$

где r - разрядность АЦП.

Из условия $\Delta_{\text{КВ}} \leq \Delta$ находим искомую разрядность АЦП

$$r \geq 11 \text{ т.к. } \frac{1}{2^{11} - 1} = 0.00049 < 0.0005.$$

По разделу 2 занятия

Дано:

- а) разрядность АЦП r ;
- б) значение кода c^* на выходе АЦП;
- в) характеристики нормирующего преобразователя;
- г) градуировочная характеристика измерительного преобразователя (датчика).

Требуется:

выполнить пересчёт значения кода c^* в значение параметра x .

Пример:

Дано:

Параметр	Тип датчика	Диапазон измерения, °С	Диапазон изменения выходного сигнала нормирующего усилителя, В	Коэффициент передачи нормирующего усилителя, В/мВ $K_{н.у}$	Разрядность АЦП r	Значение кода c^*
Температура	Термоэлектрический преобразователь ХК	0-600	0-10	0.204	12	2925

Решение:

1. Определяем сигнал x_2 на выходе нормирующего усилителя (см.схему ИИК).

$$x_2 = \frac{(x_{2\max} - x_{2\min}) \cdot c^*}{c_{\max}^*} + x_{2\min},$$

где

$$\left. \begin{array}{l} x_{2\max} = 10B; \\ x_{2\min} = 0B; \\ c^* = 2925; \end{array} \right\} \text{ - исходные данные (см. таблицу)}$$

$c_{\max}^* = 2^r - 1 = 2^{12} - 1 = 4095$ - максимальный код на выходе АЦП при $r = 12$.

Тогда

$$x_2 = \frac{10 \cdot 2925}{4095} = 7.14B.$$

2. Определяем сигнал x_1 на выходе датчика

$$x_1 = \frac{x_2 - x_{2_0}}{K_{н.у}} + x_{1_0},$$

где x_{2_0} - значение выходного сигнала нормирующего усилителя при входном сигнале x_{1_0} ;

$$x_1 = \frac{7.14 - 0}{0.204} + 0 = 35 \text{ мВ.}$$

3. Определяем значение параметра x . По градуировочной характеристике термоэлектрического преобразователя градуировки ХК с помощью метода наименьших квадратов на персональном компьютере (программа предоставляется) осуществим аналитическую градуировку датчика в диапазоне температур 0-600 °С с относительной погрешностью не более 0.5%. Метод наименьших квадратов даёт

$$x = 3.01 + 13.75 \cdot x_1 - 0.03 \cdot x_1^2,$$

где x - значение температуры, °С; x_1 - ЭДС термопары, мВ.

При $x_1 = 35$ мВ имеем $x = 447,5^0$ С .

Задание на работу

Дано:

- а) наименование параметра;
- б) тип датчика;
- в) диапазон измерения параметра;
- г) диапазон изменения выходного сигнала нормирующего усилителя;
- д) коэффициент усиления нормирующего усилителя;
- е) градуировочная характеристика измерительного преобразователя (датчика);
- ё) точность измерения;
- ж) значение кода на выходе АЦП.

Требуется:

- а) определить необходимую разрядность АЦП;
- б) осуществить аналитическую градуировку датчика (программа для ЭВМ метода наименьших квадратов предоставляется);
- в) выполнить пересчёт кода на выходе АЦП в значение параметра

В отчёте представить:

- а) задание на работу;
- б) порядок выполняемых действий с комментариями;
- в) результаты промежуточных и окончательных расчётов.

№ варианта	Тип датчика (градуировка)	Диапазон измерения, °С	Коэффициент передачи нормирующего усилителя (преобразователя)	Требуемая точность измерения, °С	Значение кода c^* на выходе АЦП
1	ХК	0-600	0.204 В/мВ	2	254
2	ХК	0-600	0.204 В/мВ	1	675
3	ХА	0-800	0.3 В/мВ	1.5	418
4	ХА	0-400	0.61 В/мВ	0.5	500
5	TСМ 50М	0-150	0.312 В/Ом	0.2	476
6	TСМ 50М	50-100	0.935 В/Ом	0.1	304
7	TСМ 100М	0-150	0.156 В/Ом	0.2	217
8	TСМ 100М	50-100	0.467 В/Ом	0.1	243
9	ХА	0-600	0.4 В/мВ	2	136
10	ХА	0-600	0.4 В/мВ	1.5	223

Примечание:

а) измеряемый параметр - температура;

б) диапазон изменения выходного сигнала нормирующего усилителя (преобразователя) 0-10 В;

в) градуировочные характеристики датчиков выдаются преподавателем на занятиях

Рабочая программа MNK (метод наименьших квадратов) имеется на жестком диске ПЭВМ в каталоге ASU.

Практическая работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТЫ ОПРОСА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Основные сведения

Метод определения частоты опроса измерительных преобразователей выбирается в зависимости от вида исходной информации об интерполируемом сигнале. Ниже рассматриваются два варианта исходной информации.

Определение частоты опроса измерительных преобразователей при ступенчатой интерполяции-экстраполяции сигнала. Корреляционная функция сигнала неизвестна

Дано:

- а) временной ряд интерполируемого сигнала;
- б) допустимая величина дисперсии ошибки экстраполяции $\sigma_{\text{доп}}^2$.

Требуется:

определить интервал опроса измерительного преобразователя.

Алгоритм №1

1. Экспериментально проводят n измерений величины $x(t)$ с произвольным интервалом времени h между соседними замерами.
2. По ниже приведённым формулам выполняют вычисления

$$\sigma_{jh} = \sqrt{\frac{\sum_{i=j}^n (x_i - x_{i-j})^2}{n-1}}, j = 1, 2, \dots, n,$$

где $x_i = x(ih); x_{i-j} = x[(i-j)h]$.

3. Графическим способом строят зависимость σ_{jh} от периода опроса:

$$\sigma_{jh} = \varphi(jh), j = 1, 2, \dots, n.$$

4. Для заданного значения СКО ошибки ступенчатой экстраполяции $\sigma_{\varepsilon \text{ доп}}$, по графику функции $\sigma_{jh} = \varphi(jh)$ определяют необходимый интервал опроса T .

Алгоритм №2

1. Для заданного временного ряда $x(jh)$ вычисляют оценку его среднего значения

$$S = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x(jh)$$

и оценку дисперсии

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [x(jh) - S]^2.$$

2. Находят n_0 -число пересечений временным рядом $x(jh)$ своего среднего значения за время $t = n \cdot h$.

3. Период опроса измерительного преобразователя определяют из неравенства

$$T \leq \frac{4 \cdot n \cdot h}{n_0 \cdot \sigma_x^2} \cdot \sigma_{\varepsilon \text{ доп}}^2.$$

Пример

С помощью программы формирования временного ряда PRAKT при числе ординат $n = 1000$ и таких параметрах программы как среднее = 100, отклонение = 10, гамма = 0.01 получаем: $S = 101.8$ - среднее; $n_0 = 22$ - число пересечений; $\sigma_x^2 = 84.2$ - оценку дисперсии и таблицу значений σ_{jh} по алгоритму №1.

Таблица

j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
σ_{jh}	0.56	0.81	1.00	1.19	1.34	1.48	1.61	1.74	1.86	1.97	2.08

По таблице, с учётом $\sigma_{\varepsilon \text{ доп}} = 2$, определяем $T \leq 10 \cdot h$.

По алгоритму №2

$$T \leq \frac{4 \cdot n \cdot h}{n_0 \cdot \sigma_x^2} \cdot \sigma_{\varepsilon \text{ доп}}^2 = \frac{4 \cdot 1000 \cdot h}{22 \cdot 84.2} \cdot 4 \approx 9 \cdot h.$$

**Определение частоты опроса
измерительных преобразователей
при ступенчатой интерполяции-экстраполяции сигнала.
Корреляционная функция сигнала известна**

Максимальная дисперсия погрешности ступенчатой экстраполяции сигнала

$$\sigma_{\varepsilon \text{ max}}^2 = 2[\sigma_x^2 - r_{xx}(T)],$$

где σ_x^2 - дисперсия сигнала; $r_{xx}(\tau)$ - автокорреляционная функция T - интервал опроса измерительного преобразователя.

Алгоритм определения необходимого интервала опроса измерительного преобразователя T основан на выше приведённом уравнении.

Алгоритм

1. Строим график функции $r_{xx}(\tau)$ (см.рис.).
2. Потребуем, чтобы выбор T обеспечивая выполнения условия $\sigma_{\varepsilon \text{ max}}^2 \leq \sigma_{\varepsilon \text{ доп}}^2$, где $\sigma_{\varepsilon \text{ доп}}^2$ - допустимая величина дисперсии ошибки экстраполяции.
3. Откладываем на оси ординат величину $\sigma_x^2 - \sigma_{\varepsilon \text{ доп}}^2 / 2$ и проводим прямую параллельную оси τ до пересечения с графиком $r_{xx}(\tau)$. Полученная точка пересечения даёт на оси τ (см.рис.) искомую величину верхней оценки интервала опроса T .

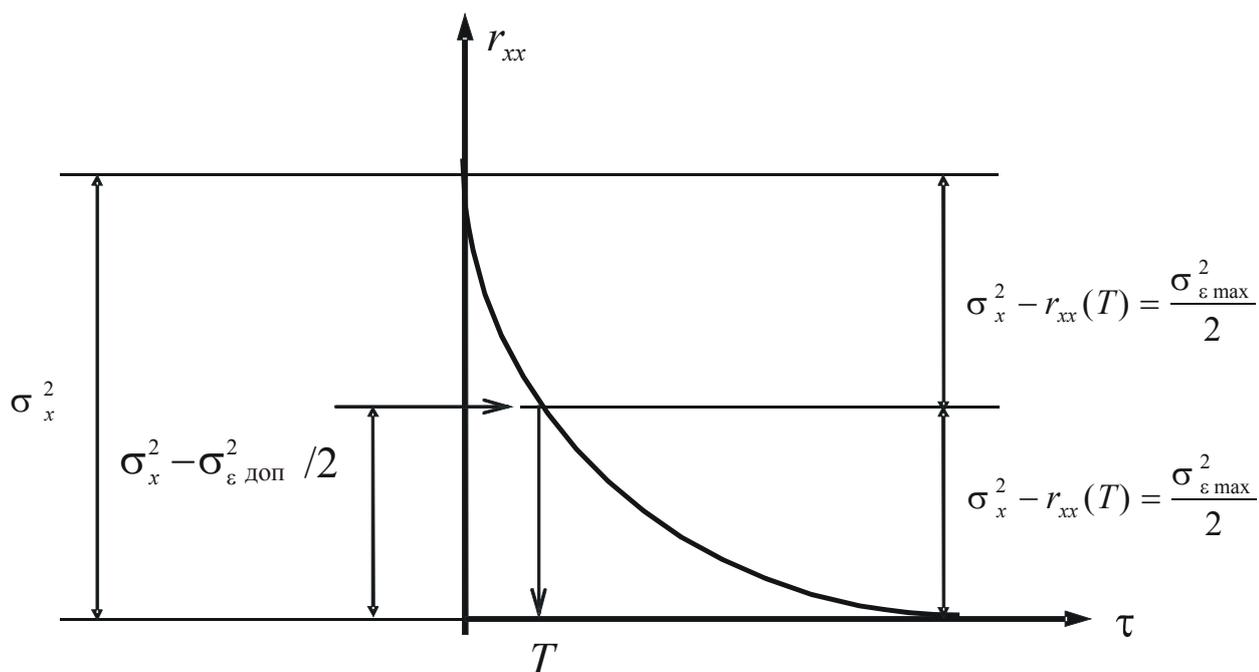


Рисунок. Определение интервала опроса

Примечание: в случае линейной интерполяции-экстраполяции сигнала

$$\sigma_{\epsilon \max}^2 = \frac{2}{3} [\sigma_x^2 - r_{xx}(T)]$$

и порядок определения T аналогичен выше рассмотренному.

Задание на работу

Дано:

а) параметры программы для персонального компьютера PRAKT (число ординат формируемого временного ряда $n = 1000$, среднее, отклонение, гамма);

б) допустимая величина дисперсии ошибки интерполяции $\sigma_{\epsilon \text{ доп}}^2$;

в) параметр α корреляционной функции интерполируемого сигнала.

Требуется:

а) с помощью программы PRAKT сформировать временной ряд интерполируемого сигнала и получить оценки дисперсии σ_x^2 , среднего S , число пересечений n_0 , таблицу значений σ_{jh} ;

б) по алгоритмам №1 и №2 определить период опроса измерительного преобразователя;

в) по известной оценке σ_x^2 и α рассчитать корреляционную функцию $r_{xx}(\tau)$;

г) по известной корреляционной функции определить период опроса измерительного преобразователя для случаев ступенчатой и линейной интерполяций временного ряда.

В отчёте представить:

- а) задание на работу и вариант задания;
- б) порядок выполнения действий с комментариями;
- в) результаты промежуточных и окончательных расчётов.

Варианты задания

№ варианта	Параметры программы PRAKT среднее; отклонение; гамма	σ_x^2 доп	Параметры α корреляционной функции интерполируемого сигнала $r_{xx}(\tau) = \sigma_x^2 \cdot e^{-\alpha \cdot \tau}$
1	120;10;0.02	5	0.01
2	200;15;0.015	7	0.02
3	150;10;0.016	6	0.015
4	180;12;0.017	5	0.005
5	0;10;0.011	5.3	0.007
6	0;10;0.012	6.8	0.017
7	10;10;0.013	4.7	0.008
8	50;12;0.014	6.5	0.025
9	0;15;0.01	4	0.011
10	20;14;0.008	4.2	0.03
Число ординат временного ряда $n = 1000$			

Практическая работа № 3

НЕПОСРЕДСТВЕННОЕ ЦИФРОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ

В рамках практического занятия необходимо проделать следующую работу.

Для одноконтурной системы осуществить расчёт параметров настройки цифрового регулятора, реализующего один из типовых законов (П, И, ПИ), определить передаточную функцию вычислительного устройства $W_{\text{вы}}^*(Z)$, составить рабочую программу реализации $W_{\text{вы}}^*(Z)$ для приведенной ниже системы команд одноадресной УВМ, определить параметры УВМ (быстродействие, объём памяти, необходимую разрядную сетку).

1. Расчёт параметров настройки цифрового регулятора

В основу требований, предъявляемых к качеству работы АСР, положим следующее:

- 1) система с цифровым регулятором должна иметь запас устойчивости не ниже заданного;
- 2) регулируемая величина не должна иметь пульсаций, обусловленных квантованием;
- 3) параметры настройки цифрового регулятора должны обеспечивать минимум принятого критерия качества работы АСР.

Расчёт системы НЦУ, удовлетворяющий перечисленным выше требованиям, может проводиться в следующем порядке:

- 1) обычным образом определяются оптимальные параметры типового непрерывного регулятора $W_p^{\text{опт}}(P)$;
- 2) осуществляется синтез оператора вычислительного устройства $W_{\text{вы}}^*(Z)$, реализующего при заданной частотной характеристике демодулятора (ЦАП) $W_{\text{дм}}(P)$ - желаемый непрерывный закон регулирования $W_p(P)$.

Выполняется это следующим образом:

а) с помощью известных методов численного анализа определяется вспомогательный оператор $K^*(Z)$ зависящий только от $Z = e^{PT}$ и приближенно реализующий зависимость

$$K^*(Z) \approx T \frac{W_p(P)}{\bar{W}_{\text{дм}}(P)},$$

где $\bar{W}_{\text{дм}}(P)$ - сомножитель в выражении

$$W_{\text{дм}}(P) = W_{\text{дм}}^*(Z) \cdot \bar{W}_{\text{дм}}(P)$$

зависящий только от P ;

б) по характеристике $K^*(Z)$ определяют оператор $W_{\text{вы}}^*(Z)$

$$W_{\text{вы}}^*(Z) = K^*(Z) / W_{\text{дм}}^*(Z).$$

В частности, если в цифровом регуляторе используется для восстановления сигнала фиксатор нулевого порядка, для которого $\bar{W}_{\text{дм}}(P) = 1/P$ и $W_{\text{дм}}^*(Z) = 1 - Z^{-1}$ формулы для $K^*(Z)$ и $W_{\text{вы}}^*(Z)$ принимают вид

$$K^*(Z) \approx TPW_p(P), \quad W_{\text{вы}}^*(Z) = \frac{Z}{Z-1} K^*(Z).$$

Операторы $W_{\text{вы}}^*(Z)$, соответствующие некоторым типовым законам регулирования при применении в качестве демодулятора фиксатора нулевого порядка, приведены в табл. 1;

Таблица 1

$W_p(P)$	$W_{\text{вы}}^*(Z)$
$\frac{K_{\text{и}}}{P}$	$TK_{\text{и}} \frac{Z}{Z-1}$
$K_{\text{р}}$	$K_{\text{р}}$
$K_{\text{р}} \frac{T_{\text{и}}P + 1}{T_{\text{и}}P}$	$K_{\text{р}} \frac{(1 + T/T_{\text{и}})Z - 1}{Z - 1}$
$K_{\text{р}} \frac{T_{\text{и}}T_{\text{д}}P^2 + T_{\text{и}}P + 1}{T_{\text{и}}P}$	$K_{\text{р}} \frac{(1 + T/T_{\text{и}} + T_{\text{д}}/T)Z^2 - (1 + 2T_{\text{д}}/T)Z + T_{\text{д}}/T}{Z(Z-1)}$

3) оставляя найденные в п.1 параметры неизменными и в цифровом регуляторе, находится максимально допустимая величина периода квантования T , при которой динамические характеристики системы с цифровым регулятором не будут заметно отличаться от характеристик системы с непрерывным регулятором.

При определении допустимых значений T следует исходить из допустимого ухудшения запаса устойчивости системы и отсутствия пульсаций квантования. Поэтому порядок расчёта на третьем этапе может быть следующим.

По формуле

$$|W_{\text{опт}}(i\omega_{\text{max}})| = \Delta,$$

где Δ - достаточно малая величина, а $W_{\text{опт}}(i\omega)$ - АФЧХ разомкнутой непрерывной системы при оптимальных параметрах настройки, найденных на первом этапе, определяется полоса пропускаемых системой частот ω_{max} .

По ω_{max} находится максимально допустимая по условию отсутствия пульсаций величина периода квантования T_{max}

$$T_{\text{max}} = \pi / \omega_{\text{max}}. \quad (1)$$

Максимальный же период квантования по условиям сохранения требуемого запаса устойчивости не должен превышать величины

$$T \leq (0.1 \div 0.14) / \omega_{\text{рез}}. \quad (2)$$

Поскольку максимальная частота пропускания любой системы отличается от резонансной частоты $\omega_{\text{рез}}$ менее чем в 25 раз, выполнение условия (2), как правило, гарантирует также и выполнение условия отсутствия пульсаций квантования (1).

По изложенному выше алгоритму разработана программа расчёта параметров настройки цифровых регуляторов RAFC1S. Программа находится в каталоге ASU. Листинг программы приводится ниже.

2. Реализация алгоритмов управления в УВМ.

Определение параметров УВМ

Реализация алгоритмов управления в УВМ осуществляется посредством рабочих программ. Составление рабочих программ определяется методом программирования (методы программирования здесь не рассматриваются). Подробный пример составления рабочей программы приведен ниже.

Важнейшие характеристики программ, такие как число команд, время выполнения, объём занимаемой памяти существенно определяются системой команд применяемой УВМ.

В качестве примера в табл. 2 приведена система команд одноадресной УВМ, имеющей команды умножения, сложения - вычитания, пересылки из сумматора в ячейку памяти, пересылки из ячейки памяти и передачи управления. Обозначая время выполнения каждой из команд соответственно $t_{умн}$, $t_{сл}$, $t_{п}$, $t_{у}$ и определив указанные времена по техническим характеристикам УВМ, можем получить время вычисления текущего управляющего воздействия $\mu[KT]$, т.е. время счёта

$$t_{сч} = N_{умн} \cdot t_{умн} + N_{сл} \cdot t_{сл} + N_{п} \cdot t_{п} + N_{у} \cdot t_{у},$$

где $N_{умн}$, $N_{сл}$, $N_{п}$, $N_{у}$ - соответственно число операций умножения, сложения, пересылки и передачи управления в программе. Быстродействие УВМ должно определиться из условия

$$t_{сч} \leq T.$$

После составления и отладки рабочих программ быстродействие в УВМ уточняется. Для этого система команд УВМ делится на группы по времени их выполнения, которое обычно приводится к длительности операций типа сложения $t_{сл}$:

$$t_i = \beta_i \cdot t_{сл}.$$

Тогда общее время выполнения программы

$$T_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^n N_i t_i = t_{\text{сл}} \cdot \sum_{i=1}^n N_i \beta_i.$$

Приведенное быстродействие определяется по формуле

$$L = \sum_{i=1}^n N_i / t_{\text{сл}} \cdot \sum_{i=1}^n N_i \beta_i.$$

Объём памяти УВМ определяется ячейками, в которых размещаются данные, константы, и рабочими ячейками. Точный объём памяти (объём ДЗУ и ОЗУ) находится после составления рабочих программ. Число ячеек (слов) ДЗУ равно сумме числа команд в программе и числа констант

$$W_{\text{дзу}} = W_{\text{пр}} + W_{\text{конст}}.$$

Число ячеек ОЗУ определяется количеством исходных данных, промежуточных и окончательных результатов

$$W_{\text{озу}} = W_{\text{исх}} + W_{\text{пром}} + W_{\text{рез}}.$$

Таблица 2

Система команд одноадресной УВМ				
№ п/п	Группа команд	Символ команды	Название и функции команд	Примечания
1	Арифметические	+ <x>	Сложение действительных чисел	Первый операнд содержится на регистре результатов РР АУ, второй извлекается из ячейки <x> ЗУ, результат вновь поступает на РР АУ.
2		- <x>	Вычитание действительных чисел	
3		× <x>	Умножение действительных чисел	
4		÷ <x>	Деление действительных чисел	
5		⊕ <x>	Сложение целых чисел	--- // --- Вырабатывается сигнал ω = 1, если результат операции меньше и ω = 0, если результат больше или равен 0.
6		(-) <x>	Вычитание целых чисел	
7		⊗ <x>	Умножение целых чисел	Сигнал ω не вырабатывается.

Система команд одноадресной УВМ				
№ п/п	Группа команд	Символ команды	Название и функции команд	Примечания
8	Пересылки	<x> →	Пересылка кода из ЗУ в АУ	Код считывается из ячейки <x> ЗУ и поступает на РР АУ. Сигнал ω не вырабатывается.
9		→ <x>	Пересылка кода из АУ в ЗУ	Код, содержащийся на РР АУ, записывается в ячейку <x> ЗУ. Сигнал ω не вырабатывается.
10		<x> → РА	Пересылка кода из ЗУ в УУ	Код с РР АУ передается на регистр адреса (РА) УУ. Сигнал ω не вырабатывается.
11	Ввода-вывода	ВВ <x>	Ввод кода с АЦП в ЗУ	Код, содержащийся на выходном регистре АЦП, записывается в ячейку <x> ЗУ. Сигнал ω не вырабатывается.
12		Выв <x>	Вывод кода из ЗУ в ЦАП	Код из ячейки <x> ЗУ поступает на выходной регистр ЦАП. Сигнал ω не вырабатывается.
13	Управление	УП №	Условный переход по ω = 1,	Управление передается команде с номером № по сигналу ω = 1, . В противном случае сохраняется естественный порядок следования команд.
14		БП №	Безусловный переход	Управление передается команде с номером № безусловно.
15		Стоп	Останов	Выполнение команд прерывается. На счетчик команд заносится "1".

Общий объем ЗУ определяет длину адресной части команды

$$A = \log_2 (W_{\text{дзу}} + W_{\text{озу}}),$$

по которой находится разрядность машинной команды (и следовательно, ДЗУ)

$$K=A+\Pi+\text{КОП},$$

где Π - индексная часть команды; КОП - код операции.

Длина индексной части определяется числом индексных регистров $N_{\text{и}}$

$$\Pi = \log_2(N_{\text{и}} + 1).$$

Число разрядов в коде операций определяется числом различных операций в системе команд УВМ $N_{\text{оп}}$

$$\text{КОП} \geq \log_2 N_{\text{оп}}.$$

Выполняя арифметические операции, УВМ осуществляет округление полученных результатов. Поэтому возникают ошибки округления, которые накапливаются и могут значительно повлиять на точность расчета управляющего воздействия. В этой связи разрядную сетку УВМ выбирают так, чтобы сделать ошибку вычисления $\mu[KT]$ меньше заданной.

Характер накопления ошибок округления может в большой степени зависеть от вида реализуемых алгоритмов управления. Однако, если не учитывать структуру реализуемого алгоритма и допустить независимость ошибок в цепи последовательных округлений, то разрядность сетки УВМ (разрядность АУ-сумматора) можно приближенно оценить следующим образом.

Пусть функция ошибки регулирования $\varepsilon[KT]$ имеет максимальное значение модуля $|\varepsilon|_{\text{max}}$ и должна быть представлена со средней квадратичной ошибкой σ_1 . Тогда разрядность запоминающих устройств, предназначенных для хранения чисел

$$R_1 = \log_2 |\varepsilon|_{\text{max}} - \log_2 \sigma_1 + 1.$$

Учтём ошибки округлений. В первом приближении можно считать, что при выполнении N_0 элементарных операций с округлением при реализации функции $\mu[KT]$ среднее квадратическое значение ошибки в

единицах младшего разряда арифметического устройства определяется выражением

$$\sigma_2 = \sqrt{N_0/12}.$$

Поэтому накопившаяся в результате последовательных округлений ошибка потребует для компенсации R_2 разрядов

$$R_2 = \log_2 \sqrt{N_0/12} + 1.$$

Тогда разрядность арифметического устройства

$$R_{AV} = R_1 + R_2,$$

и в этом случае среднеквадратическая ошибка результата не увеличивается.

Пример. Определить разрядную сетку УВМ, если входная величина не превышает по модулю единицы, а её средняя квадратическая ошибка $\sigma_1 = 10^{-3}$. Число последовательных операций с округлением при вычислении выходной величины $\mu[KT]$ составляет $N_0 = 600$.

Решение. Определим R_1 и R_2

$$R_1 = \log_2 (1(-\log_2 10^{-3} + 1) \approx 11;$$

$$R_2 = \log_2 \sqrt{600/12} + 1 \approx 4.$$

Тогда

$$R_{AV} = R_1 + R_2 = 15.$$

Таким образом, арифметическое устройство машины должно иметь 16 разрядов (с учётом знакового разряда).

Теперь рассмотрим определение необходимой разрядности аналого-цифрового преобразователя (АЦП).

Пусть погрешность датчика Δ_i является случайной величиной, распределенной по нормальному закону с СКО $\sigma(\Delta_i)$. Применяя правило “трех сигм”, можем записать, что предельная абсолютная погрешность датчика с вероятностью $P = 0.955$ находится в пределах $3\sigma(\Delta_i)$.

Максимальная погрешность квантования Δ_{\max} должна быть меньше погрешности датчика. В этой связи разрядность АЦП m_i выбирают из условия

$$\Delta_{\max} = 2^{-(m_i+1)} < 3\sigma(\Delta_i)$$

или из неравенства

$$m_i > -\log_2 3\sigma(\Delta_i) - 1$$

или из усиленного неравенства

$$m_i \geq -\log_2 3\sigma(\Delta_i).$$

3. Реализация программ управления в УВМ

Реализация дискретных передаточных функций $W_{\text{вы}}^*(Z)$ осуществляется в виде программы УВМ.

Выполнение программы на УВМ в реальном времени приводит к введению временной задержки и эквивалентно появлению сомножителя e^{-PT} в передаточных функциях программ.

Непосредственно реализацию программ управления в УВМ рассмотрим на следующем примере.

Пример

Реализовать в виде программы одноадресной УВМ следующую передаточную функцию вычислительного устройства:

$$W_{\text{вы}}^*(Z) = \frac{495Z^3 - 70.5Z^2}{15Z^3 - 7.5Z^2 - 0.405Z - 0.0045}.$$

Решение. Передаточную функцию $W_{\text{вы}}^*(Z)$ преобразуем к виду, удобному для составления разностного уравнения, т.е.

$$W_{\text{вы}}^*(Z) = \frac{\mu^*(Z)}{\varepsilon^*(Z)} = \frac{33 - 4.7Z^{-1}}{1 - 0.5Z^{-1} - 0.027Z^{-2} - 0.0003Z^{-3}}.$$

Вводя множитель Z^{-1} обеспечивающий выполнение программы управления на УВМ в реальном масштабе времени, получим

$$\frac{\mu^*(Z)}{\varepsilon^*(Z)} = \frac{33Z^{-1} - 4.7Z^{-2}}{1 - 0.5Z^{-1} - 0.027Z^{-2} - 0.0003Z^{-3}}$$

С помощью последнего выражения запишем разностное уравнение алгоритма вычисления $\mu[KT]$

$$\mu[KT] = 0.5\mu[(K-1)T] + 0.027\mu[(K-2)T] + 0.0003\mu[(K-3)T] + 33\varepsilon[(K-1)T] - 4.7\varepsilon[(K-2)T].$$

Реализуем это уравнение в виде рабочей программы одноадресной УВМ (табл. 3) в системе команд, которые приведены в табл.2. Распределение памяти приводится в табл.4.

Таблица 3

Рабочая программа реализации $W_{\text{вы}}^*(Z)$

№ ячейки	Код операции	Примечания	№ ячейки	Код операции	Примечания
01	$\langle x2 \rangle \rightarrow$	Подготовка к вычислению нового значения $\mu[KT]$.	14	$\langle xa1 \rangle \rightarrow$	Получение $\sum_{i=1}^5 c_i x_i$ в ячейке $\langle xk \rangle$
02	$\rightarrow \langle x3 \rangle$		15	$\times \langle ca1 \rangle$	
03	$\langle x1 \rangle \rightarrow$		16	$+ \langle xk \rangle$	
04	$\rightarrow \langle x2 \rangle$	Пересылка $\mu[(K-2)T] \rightarrow \mu[(K-3)T]$ $\mu[(K-1)T] \rightarrow \mu[(K-2)T]$ $\mu[KT] \rightarrow \mu[(K-1)T]$ $\varepsilon[(K-1)T] \rightarrow \varepsilon[(K-2)T]$	17	$\rightarrow \langle xk \rangle$	Счётчик по i
05	$\langle xk \rangle \rightarrow$		18	$\langle a1 \rangle \rightarrow$	
06	$\rightarrow \langle x1 \rangle$		19	$\oplus \langle 1 \rangle$	
07	$\langle x4 \rangle \rightarrow$		20	$\rightarrow \langle a1 \rangle$	
08	$\rightarrow \langle x5 \rangle$		21	$(-) \langle 5 \rangle$	
09	Вв $\langle x4 \rangle$	Ввод нового значения $\varepsilon[(K-1)T]$	22	УП $\langle 14 \rangle$	
10	$\langle 0 \rangle \rightarrow$	Зануление ячейки $\langle xk \rangle$	23	Выв $\langle xk \rangle$	Вывод нового значения $\mu[KT]$ на ЦАП
11	$\rightarrow \langle xk \rangle$		24	БП $\langle 1 \rangle$	
12	$\langle 1 \rangle \rightarrow$				
13	$\rightarrow \langle a1 \rangle$				

Распределение памяти

№ п.п.	Ячейки	Содержимое ячейки памяти	№ п.п.	Ячейки	Содержимое ячейки памяти	№ п.п.	Ячейки	Содержимое ячейки памяти
1	<xk>	$\mu[KT]$	6	<x5>	$\varepsilon[(K-2)T]$	11	<c5>	-4.7
2	<x1>	$\mu[(K-1)T]$	7	<c1>	0.5	12	<1>	1(целое)
3	<x2>	$\mu[(K-2)T]$	8	<c2>	0.027	13	<5>	5(целое)
4	<x3>	$\mu[(K-3)T]$	9	<c3>	0.0003	14	<0>	0
5	<x4>	$\varepsilon[(K-1)T]$	10	<c4>	33	15	<a1>	Рабочая ячейка

Задание на работу

Дано:

а) передаточная функция объекта управления, закон регулирования, требования к запасу устойчивости АСР, критерий оптимальности;

б) система команд одноадресной УВМ;

в) времена выполнения УВМ команд;

г) число индексных регистров УВМ, параметры сигнала ошибок и датчика.

Требуется:

а) выполнить расчёт параметров настройки цифрового регулятора;

б) определить передаточную функцию вычислительного устройства;

в) составить рабочую программу реализации управляющего воздействия;

г) определить параметры УВМ (необходимое быстродействие, объём памяти, необходимую разрядную сетку, разрядность АЦП).

В отчёте представить:

а) задание на работу и вариант задания;

б) порядок выполняемых действий с комментариями;

в) результаты промежуточных и окончательных расчётов.

Для всех вариантов задания

$$W_{об}(P) = \frac{K_{об}}{(T_{об}P + 1)^3} e^{-P\tau_{об}}.$$

Критерий оптимальности

$$I_1 = \int_0^{\infty} \varepsilon(t) dt \rightarrow \min.$$

Времена выполнения команд

$$t_{сл} = 1 \cdot 10^{-5} c; \quad t_{умн} = 2 \cdot 10^{-5} c; \quad t_{п} = 5 \cdot 10^{-6} c; \quad t_y = t_{п}.$$

Система команд приведена в табл.2.

Число индексных регистров $N_{и} = 10$.

Максимальное значение модуля ошибки регулирования $|\varepsilon|_{\max} = 10$.

Варианты задания

№ варианта	Закон регулирования	Степень колебательности переходного процесса	Параметры объекта			СКО σ_1	СКО погрешности датчика
			$K_{об}$	$T_{об}$	$\tau_{об}$		
1	И	0.25	1	10	5	0.01	0.02
2	ПИ	0.3	1	10	3	0.02	0.02
3	ПИ	0.35	2	20	5	0.03	0.03
4	ПИ	0.37	5	30	5	0.01	0.03
5	ПИ	0.28	2	40	10	0.02	0.02
6	И	0.32	2	50	10	0.03	0.05
7	И	0.34	1	60	10	0.03	0.04
8	ПИ	0.25	1	70	8	0.02	0.03
9	П	0.36	1	80	10	0.01	0.04
10	П	0.28	1	100	5	0.01	0.02

Список рекомендуемой литературы

1. Чернявский Е.А. Измерительно-вычислительные средства автоматизации производственных процессов. – Л.: Энергоиздат, 1989. – 271.
2. К о р ы т и н А . М . , Петров Н.К., Радимов С.Н., Шапаров Н.К. Автоматизация типовых технологических процессов и установок: Учебник для вузов. -М.: Энергоатомиздат, 1988. -432с.
3. О с н о в ы управления технологическими процессами /Под ред. Н.С. Райбмана. -М.: Наука, 1978. -440с.
4. Шидловский В.С. Автоматизация технологических процессов и производств: Руководство для организации самостоятельной работы. – Томск: Изд-во НТЛ, 2004. – 16 с.
5. Шидловский С.В. Автоматизация технологических процессов и производств: Учебное пособие. – Томск: Изд-во НТЛ, 2005. – 100 с.

*АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ*

Учебно-методическое пособие
к практическим работам

Формат 60×84¹/₁₆. Бумага белая писчая.

Печать офсетная. Гарнитура «Таймс».

Усл. печ. л. 2,4. Уч.-изд.л. 2,81. Тираж 100 экз.

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
634050, г.Томск, пр. Ленина, 40.