



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»**

(ДГТУ)

Факультет	Энергетика и нефтегазопромышленность
Кафедра	АММ НГК
Направление	15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств (бакалавриат)

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ
ДЛЯ СТУДЕНТОВ – ЗАОЧНИКОВ
ДИСЦИПЛИНЫ**

«Алгоритмизация производств нефтегазового комплекса»

Ростов-на-Дону
2017

Изучение курса “Алгоритмизация производств нефтегазового комплекса ” включает:

- а) работу над учебными пособиями;
- б) выполнение контрольных работ;
- в) посещение лекций и консультации по отдельным разделам курса;
- г) выполнение лабораторных работ;
- д) решение практических задач.

По основным вопросам и наиболее сложным темам курса, которые вызывают затруднения при самостоятельном изучении, студентам читаются лекции.

После изучения очередной темы курса студент должен уметь ответить на вопросы для самопроверки.

Контрольная работа включает в себя два задания. Вариант задания определяется по номеру студента в журнале.

После выполнения контрольной работы студент допускается к выполнению лабораторных работ, а после их выполнения – к сдаче экзамена.

Задание 1.

А) Разработать блок-схемы алгоритмов определения истинных значений X измеряемых величин в соответствии с вариантом.

Б) Набрать, отредактировать и выполнить программы, продемонстрировать результаты работы в виде графиков, таблиц, рассчитанных показателей, текстов.

Исходные данные.

1) Рассчитать значение параметра при заданном значении U , используя таблицу $U(t)$ и построить по ней график:

$U(t)$	U	0	1	2	3	4	5
Вар.	B	t					
1	2.4	-70	-30	-17	-6	-1	0
2	2.1	-65	-25	-12	-5	-2	0
3	2.2	-75	-35	-21	-7	-1	0
4	2.3	-72	-32	-19	-6	-2	0
5	2.0	-67	-27	-15	-5	-1	0
6	2.5	-74	-34	-14	-7	-2	0
7	2.6	-69	-29	-16	-6	-1	0
8	2.4	-73	-33	-18	-5	-2	0
9	2.2	-66	-28	-13	-7	-1	0
10	2.7	-78	-26	-22	-6	-2	0
11	2.4	-74	-32	-15	-6	-1	0
12	2.2	-64	-25	-12	-5	-2	0
13	2.1	-74	-35	-21	-7	-1	0
14	2.0	-75	-32	-19	-6	-2	0
15	2.3	-64	-27	-15	-5	-1	0
16	2.6	-77	-34	-14	-7	-2	0
17	2.7	-63	-29	-16	-6	-1	0
18	2.2	-79	-33	-18	-5	-2	0
19	2.4	-66	-28	-13	-7	-1	0
20	2.4	-78	-26	-22	-6	-2	0
21	2.5	-78	-33	-18	-5	-2	0
22	2.7	-63	-28	-13	-7	-1	0
23	2.2	-78	-26	-22	-6	-2	0

2) Рассчитать массу продукта переправленную конвейером за время суток S и S_{cp} :

Исходные данные:

t,ч	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Вар.	V(t),кг/мин								
1	100	9650	1900	1900	1350	1370	2100	2250	1500
2	120	9700	1950	1950	1400	1380	2150	2300	1500
3	140	9750	2000	2000	1450	1390	2200	2350	1500
4	160	9800	2050	2050	1500	1400	2250	2400	1500
5	170	9850	2100	2100	1550	1410	2300	2450	1500
6	90	9600	1850	1850	1300	1360	2050	2200	1500
7	80	9550	1800	1800	1250	1350	2000	2150	1500
8	70	9500	1750	1750	1200	1340	1950	2100	1500
9	60	9450	1700	1700	1150	1330	1900	2050	1500
10	180	9900	2150	2150	1600	1420	2350	2500	1500
11	120	9650	1900	1900	1350	1370	2100	2250	1500
12	100	9700	1950	1950	1400	1380	2150	2300	1500
13	160	9750	2000	2000	1450	1390	2200	2350	1500
14	140	9800	2050	2050	1500	1400	2250	2400	1500
15	90	9850	2100	2100	1550	1410	2300	2450	1500
16	170	9600	1850	1850	1300	1360	2050	2200	1500
17	70	9550	1800	1800	1250	1350	2000	2150	1500
18	80	9500	1750	1750	1200	1340	1950	2100	1500
19	180	9450	1700	1700	1150	1330	1900	2050	1500
20	60	9900	2150	2150	1600	1420	2350	2500	1500
21	60	9500	1750	1750	1200	1340	1950	2100	1500
22	70	9450	1700	1700	1150	1330	1900	2050	1500
23	70	9900	2150	2150	1600	1420	2350	2500	1500

Методические указания

Алгоритм контроля состояния объекта реализуется практически в каждой АСУ ТП. При разработке этих алгоритмов необходимо иметь в виду следующее.

Опрос датчиков, установленных на объекте, проще осуществлять циклически через заданный интервал времени Δt . Опрос нужно начинать с датчика D_1 и заканчивать датчиком D_n . Для некоторых объектов целесообразно выделение нескольких групп датчиков, а для каждой группы – своего интервала Δt . Сигналы с датчиков через устройства сопряжения с

объектом, должны считываться и запоминаться в ЭВМ в виде значений $Y_1, \dots, Y_i, \dots, Y_n$. Показания датчиков должны быть пересчитаны в физические (технологические) параметры $X_1, \dots, X_i, \dots, X_n$. Эти текущие значения параметров объекта должны поочерёдно сравниваться с нижними $X_1^H, \dots, X_i^H, \dots, X_n^H$ и верхними $X_1^B, \dots, X_i^B, \dots, X_n^B$ допустимыми (регламентными значениями). В случае выхода контроля за заданные пределы необходимо, чтобы на дисплей выдавались сообщения, привлекающие внимание оператора и поясняющие ситуации. Например: «ТРЕВОГА! Температура в аппарате $=90^\circ\text{C}$, выше предельной $=75^\circ\text{C}$ ». Если все параметры объекта находятся в допустимых пределах, то необходимо об этом периодически выдавать сообщение. Например: «Процесс идёт нормально».

Для некоторых объектов управления выход отдельных параметров за регламентные пределы в течение времени $(2 \div 10)\Delta t$ не приводит к негативным изменениям на объекте. Для таких объектов и параметров в алгоритме контроля необходимо обеспечить выдачу сообщений оператору лишь только в том случае, если данный параметр находится вне регламентной зоны в течение нескольких K_i интервалов Δt .

Для некоторых объектов необходимо контролировать не только значения тех или иных параметров, но и скорость их изменения. В этом случае необходимо на каждом интервале времени Δt вычислить приближенно скорость

$$V_i = \frac{X_{i,j-1} - X_{i,j}}{\Delta t},$$

где j —номер текущего интервала времени. Текущее значение V_i должно сравниваться с допустимыми значениями V_i^B и V_i^H и, в случае выхода V_i за пределы, формироваться предупреждающее сообщаемое оператору.

Параметры X_i^B , X_i^H , K_i , V_i^H , V_i^B , n , Δt задаются преподавателем.

Для проверки правильности работы программы необходимо подготовить наборы значений X_i с целью имитации различных состояний объекта.

Программу необходимо разработать на одном из языков ASSEMBLER, Pascal, Object Pascal.

При разработке алгоритмов определения истинных значений X измеряемых величин по показаниям датчиков Y нужно иметь в виду следующее. Как правило, информация, снимаемая с помощью АЦП датчика Y , связана с истинным значением измеряемой переменной X зависимостью

$$Y = \varphi(X),$$

где $\varphi(X)$ —в общем случае нелинейная функция.

Так как измеряемой величиной является X , а не Y , то его значение можно получить, решив уравнение

$$X = \varphi^{-1}(Y),$$

Рассмотрим способы получения этого уравнения при разных видах функции $\varphi(X)$.

Если $\varphi(X)$ —линейная функция, то в этом случае связь между Y и X определяется в виде

$$Y = Y_0 + a \cdot X,$$

где Y_0 —начальное значение функции, a —постоянный коэффициент.

Отсюда

$$X = (Y - Y_0) \cdot a^{-1}. \quad (1.1)$$

Следовательно, для получения X в память машины необходимо записать значения Y_0 и a^{-1} , затем произвести вычисления по (1.1).

Если $\varphi(X)$ —нелинейная функция, то определение истинного значения измеряемой переменной зависят от характера нелинейности.

Если нелинейность аналитическая, например, вида $Y = X^2$, то получение $X = \sqrt{Y}$ возможно путём использования либо стандартных подпрограмм (функций), либо известных методов приближённого вычисления \sqrt{Y} .

Если функция $\varphi(X)$ неаналитическая, то определение истинного значения измеряемой переменной возможно либо по таблицам, либо с

использованием метода аппроксимации. В первом случае зависимость $Y=\varphi(X)$ определяется предварительно (обычно экспериментальным путём) и задаётся в виде таблицы значений: $X_1, Y_1; X_2, Y_2; \dots X_i, Y_i; \dots X_n, Y_n$. Алгоритм определения истинного значения X строится в виде упорядоченного перебора табличных значений $Y_i (i=1, 2, \dots, n)$ и сравнивая их со значением, полученным с выхода датчика Y . При выполнении условия $Y_i \leq Y \leq Y_{i+1}$ полагается $Y=Y_i$ или $Y=Y_{i+1}$. Выбор значений Y и Y_{i+1} определяется принятым способом округления. Например, если $|Y - Y_i| \geq |Y - Y_{i+1}|$, то $Y=Y_{i+1}$, а в противном случае $Y=Y_i$. Зная номер Y_i , ближайшему к измеренному значению Y , можно из таблицы определить соответствующее ему значение X .

Для уменьшения объёма таблицы количество точек, определяющих характеристику датчика, стараются задавать сравнительно небольшим. В этом случае для повышения точности определения истинного значения измеряемой величины можно использовать различные способы интерполяции. В частности, если использовать линейную интерполяцию, то промежуточное значение измеряемой переменной определяется так:

$$X = X_i + \Delta X \cdot (Y - Y_i) / (Y_{i+1} - Y_i),$$

где $\Delta X = X_{i+1} - X_i$ — шаг по переменной X .

Алгоритм определения в этом случае состоит из:

- 1) поиска ближайшей к Y пары значений Y_{i+1}, Y_i и соответствующего значения X_i ;
- 2) отыскания по вышеуказанной формуле значения X_i .

В память ЭВМ в этом случае необходимо кроме таблиц записать и значение X_i .

В том случае если табличный способ не подходит из-за большого расхода ячеек памяти или по временным затратам на его реализацию, то альтернативной может быть аппроксимация зависимости $X=\varphi^{-1}(Y)$ некоторым полиномом вида

$$X=P_n(X)=a_n \cdot Y^n+a_{n-1} \cdot Y^{n-1}+\ldots+a_1 \cdot Y+a_0 , \quad (1.2)$$

где Y – значение сигнала, снимаемого с датчика;

a_i – постоянные коэффициенты ($i=0,1,\ldots,n$).

При этом способе коэффициенты также записываются в память машины. Коэффициенты полинома и порядок полинома подбираются таким образом, чтобы ошибка аппроксимации

$$\delta_i=P_n(Y_i)-X_i$$

не превосходила допустимого значения $\delta_{\text{доп}}$.

Вычисление полинома (1.2) лучше всего производить по схеме Горнера. Для этого выражение (1.2) преобразуется к виду

$$X_n=P_n(Y)=(((\ldots(a_n \cdot Y+a_{n-1}) \cdot Y+a_{n-2}) \cdot Y+\ldots a_1) \cdot Y+a_0 \quad (1.3)$$

Рекуррентную формулу вычисления $P_n(Y)$ можно записать следующим образом:

$$S_{n-i+1}(Y)=S_{n-i} \cdot Y+a_{i-1} . \quad (1.4)$$

Вычисление по (1.4) производится n раз до получения

$$S_{n-i+1}(Y)=S_n(Y)=P_n(Y)=X .$$

В некоторых случаях при отсутствии датчиков или невозможности использовать их из-за тяжёлых условий эксплуатации, значение того или иного параметра технологического процесса не может быть измерено непосредственно.

Одним из вариантов выхода из этого положения является применение косвенного измерения. То есть, если необходимо измерить параметр U , а датчика нет, то можно измерить параметры Z и V с помощью соответствующих датчиков и использовать информацию для вычисления параметра U . Например, при отсутствии концентратометров солевых растворов можно по показаниям плотномеров P и термодатчиков T вычислить концентрацию, зная функциональную взаимосвязь $C=f(P,T)$. Часто такая функциональная связь в явном виде не задана, а может быть получена лишь в результате анализа экспериментальных данных. В

некоторых случаях такая связь между переменными не детерминированная, а стохастическая. Наибольшее распространение для установления связи между переменными, стохастически связанными друг с другом, получил метод регрессионного анализа. Этот метод позволяет определить вид и параметры аналитической зависимости между параметрами. Например, если экспериментальные точки $X_1, Y_1; \dots X_i, Y_i; \dots X_n, Y_n$ корреляционного поля расположились так, что можно подозревать линейную связь между X и Y , т.е. связь вида

$$\tilde{Y} = a_0 + a_1 \cdot X$$

коэффициенты a_0 и a_1 могут быть найдены по методу наименьших квадратов функции ошибок

$$F_{\text{н.к.}} = \sum_{i=1}^n (a_0 + a_1 \cdot X_i - Y_i)^2.$$

Полученные коэффициенты a_0 и a_1 в дальнейшем могут быть использованы для косвенного измерения путём вычисления по формуле:

$$\tilde{Y}_i = a_0 + a_1 \cdot X_i,$$

где X_i – измеряемый с помощью датчика параметр технологического процесса; Y_i – параметр технологического процесса, необходимый для адекватного управления объектом.

Оценка адекватности регрессионной модели экспериментальным данным может осуществляться на основании критерия Фишера.

Сбор экспериментальных данных и их обработка с использованием метода регрессионного анализа может осуществляться либо однократно, перед внедрением АСУТП, либо периодически в процессе эксплуатации АСУТП.

Суммарный и средний показатели АСУТП обычно характеризуют работу системы за определённый промежуток времени. Например, с помощью этих показателей определяются такие характеристики, как расход

электроэнергии, топлива, химических веществ, а также их средние значения за заданные интервалы времени.

Определение суммарных показателей с помощью ЭВМ осуществляется путём использования различных методов дискретного интегрирования. Простейший метод дискретного интегрирования—метод прямоугольников, использующий ступенчатую аппроксимацию непрерывной кривой подынтегральной функции $X(t)$.

Формулу, реализующую этот метод, можно записать в виде

$$S(t) = S_0 + T \cdot \sum_{i=1}^n X(t_i) ,$$

где S_0 — начальное значение интеграла;

$n = \frac{t_n - t_0}{T}$ — число шагов квантования на интервале;

T — период квантования по времени;

t_0 и t_n — начальный и конечный моменты времени.

Вычисление $S(t)$ лучше выполнять по следующей рекуррентной формуле:

$$S_i(t) = S_{i-1}(t) + T \cdot X(t_i) .$$

Исходными данными для вычисления $S_i(t)$ по этой формуле будут

$$S_0=0, T, n .$$

Основным недостатком при интегрировании по методу прямоугольников является сравнительно большая методическая погрешность, поэтому можно применять и другие формулы, такие, которые реализуют метод трапеций,

$$S_i(t) = S_{i-1}(t) + 0.5[X(t_i) + X(t_{i-1})] \cdot T .$$

Выбор того или иного метода определяется допустимой погрешностью вычислений суммарного показателя.

Определение средних показателей на интервале $\Delta t = t_n - t_0$ может быть осуществлено с использованием одной из следующих формул:

$$X_{\text{CP}} = S(t_n - t_0) / \Delta t \quad \text{или} \quad X_{\text{CP}} = (1/n) \cdot \sum_{i=1}^n X_i(t_i).$$

Задание 2.

1. Построить кривую разгона объекта и определить графические параметры динамической модели объекта (K, a_1).

2. Разработать детальный алгоритм и программу для расчёта коэффициентов разностного уравнения, базируясь на методе Калмана.

3. Отредактировать программу, ввести исходные данные об объекте, выполнить программу и получить рассчитанные значения коэффициентов разностного уравнения (A_0, B_0).

4. Провести перерасчёт коэффициентов разностного уравнения в коэффициенты дифференциального уравнения, описывающего исследуемый объект. Сравнить параметры моделей объекта, полученных графическим методом и методом Калмана.

5. Построить и сравнить графики переходных процессов объекта при ступенчатом воздействии: экспериментального и полученного из разностного уравнения.

Данные: $X_B=30$

t	0	15	30	45	60	75	90	105	120
Вар.	$Y_{\Sigma}(t)$								
1	0,5	71	115	125	143,5	144,5	147,5	149,5	150
2	0,6	72	116	126	144,5	142,5	146,5	150,5	140
3	0,4	70	114	124	145,5	143,5	148,5	155,5	130
4	0,7	73	117	127	146,5	145,5	145,5	148,5	160
5	0,3	69	113	123	147,5	142,5	149,5	147,5	120
6	0,5	74	118	128	148,5	140,5	150,5	156,5	170
7	0,6	68	112	122	142,5	146,5	144,5	153,5	110
8	0,4	75	119	129	141,5	147,5	143,5	152,5	180
9	0,7	67	111	121	140,5	148,5	142,5	157,5	100
10	0,3	76	110	120	149,5	141,5	141,5	151,5	190
11	0,5	70	116	125	144,5	144,5	147,5	159,5	100
12	0,4	73	113	126	145,5	142,5	146,5	155,5	120
13	0,3	72	115	124	146,5	143,5	148,5	152,5	140
14	0,4	71	116	127	142,5	145,5	145,5	154,5	160
15	0,5	74	114	123	146,5	142,5	149,5	149,5	180
16	0,6	68	117	128	145,5	140,5	150,5	154,5	170
17	0,7	73	115	122	144,5	146,5	143,5	155,5	150
18	0,3	70	116	129	143,5	147,5	146,5	153,5	130
19	0,6	75	115	121	147,5	148,5	145,5	158,5	110

20	0,4	71	113	120	148,5	141,5	146,5	156,5	190
21	0,4	69	116	121	142,5	148,5	141,5	155,5	170
22	0,7	72	114	120	143,5	141,5	141,5	156,5	150
23	0,3	76	118	125	145,5	144,5	144,5	159,5	130
24	0,4	74	113	126	143,5	142,5	143,5	151,5	110
25	0,5	68	116	124	146,5	143,5	147,5	154,5	150

Методические указания

Многие технологические объекты управления, функционирования которых в динамике требует изучения, не могут быть описаны в виде неформальных аналитических математических моделей (системы дифференциальных уравнений с известными коэффициентами и т.д.). Поэтому для получения их динамических моделей применяются экспериментальные методы. Эти методы позволяют описать объект с определённой точностью в виде формальной модели, получаемой как результат обработки экспериментальных данных об объекте. Один из сравнительно несложных современных методов динамической идентификации, основанной на результатах пассивного эксперимента, является метод Калмана. Суть его заключается в следующем.

1. В процессе эксплуатации (исследования) через строго фиксированные интервалы времени Δt записываются значения входных и выходных параметров объекта: $X_1, \dots, X_n, Y_1, \dots, Y_n$.

2. Выбирают наиболее простой вид формальной аналитической модели, записанной в виде разностного уравнения k -го порядка.

$$Y_n = A_0 \cdot X_{n-1} + A_1 \cdot X_{n-2} + \dots + A_{k-1} \cdot X_{n-k} + B_0 \cdot Y_{n-1} + B_1 \cdot Y_{n-2} + \dots + B_{k-1} \cdot Y_{n-k}, \quad (2.1)$$

Где $Y_n, Y_{n-1}, \dots, Y_{n-k}, X_{n-1}, \dots, X_{n-k}$ — значения входной и выходной величины в $n, n-1, n-k$ интервалы времени. Это разностное уравнение является аналогом дифференциального линейного уравнения k -го порядка;

3. По результатам эксперимента с учётом принятого вида модели методом минимума суммы квадратов отклонений определяют коэффициенты разностного уравнения;

4. Решают разностное уравнение и сравнивают полученные динамические характеристики с экспериментом;

1. При больших отклонениях задаются разностным уравнением более высокого порядка и повторяют расчёт (т.е. этапы 2-5);

При выполнении этапа 2, поскольку порядок дифференциального уравнения, описывающего идентифицируемый объект, обычно известен, то следует начинать с наиболее простой формальной модели, а именно — разностного уравнения первого порядка

$$Y_n = A_0 \cdot X_{n-1} + B_0 \cdot Y_{n-1}, \quad (2.2.)$$

которому можно в качестве аналога сопоставить дифференциальное уравнение первого порядка вида

$$a_1 \cdot \frac{dY}{dt} + Y = k \cdot X \quad (2.3)$$

При выполнении этапа 3 используется методика минимизации суммы квадратов отклонений, т.е. строится функция ошибки вида

$$L = \sum_{i=1}^m (Y_i - Y_{ip})^2,$$

где m — число экспериментальных выборок (измерений), X_i , Y_i — экспериментальное значение величины X и Y в i -тый интервал времени, Y_{ip} — расчётное значение (по уравнению (2.2)) величины Y в тот же i -тый интервал времени.

Подставляя это уравнение вместо Y_{ip} его значение, полученное по формуле (2.2), при условии подстановки в её правую часть экспериментальных данных о входной и выходной величинах в i -тый интервал времени (т.е. X_{i-1} и Y_{i-1}), получаем:

$$L = \sum_{i=1}^m (Y_i - A_0 \cdot X_{i-1} - B \cdot Y_{i-1})^2.$$

Эта функция будет иметь минимальное значение при следующих условиях:

$$\frac{\partial L}{\partial A_0} = 0; \quad \frac{\partial L}{\partial B_0} = 0.$$

Отсюда имеем систему двух уравнений:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^m 2 \cdot (Y_i - A_0 \cdot X_{i-1} - B_0 \cdot Y_{i-1}) \cdot X_{i-1} = 0 \\ \sum_{i=1}^m 2 \cdot (Y_i - A_0 \cdot X_{i-1} - B_0 \cdot Y_{i-1}) \cdot Y_{i-1} = 0 \end{cases}$$

Решением этой системы уравнений будет:

$$A_0 = \frac{\sum_{i=1}^m Y_i \cdot X_{i-1} \cdot \sum_{i=1}^m Y^2 - \sum_{i=1}^m Y_{i-1} \cdot X_{i-1} \cdot \sum_{i=1}^m Y_i \cdot Y_{i-1}}{\sum_{i=1}^m X_{i-1}^2 \cdot \sum_{i=1}^m Y_{i-1}^2 - \left(\sum_{i=1}^m Y_{i-1} \cdot X_{i-1} \right)^2} \cdot (2.4)$$

$$B_0 = \frac{\sum_{i=1}^m Y_i \cdot Y_{i-1} \cdot \sum_{i=1}^m X^2 - \sum_{i=1}^m Y_{i-1} \cdot X_{i-1} \cdot \sum_{i=1}^m Y_i \cdot Y_{i-1}}{\sum_{i=1}^m X_{i-1}^2 \cdot \sum_{i=1}^m Y_{i-1}^2 - \left(\sum_{i=1}^m X_{i-1} \right)^2}.$$

Меру отклонения полученной модели от данных исследований, полученных при эксперименте, можно оценить по величине

$$S_{\text{оА}} = \left[\frac{\sum_{i=1}^m \left[(Y_i - A_0 \cdot X_{i-1} - B_0 \cdot Y_{i-1})^2 / Y_i^2 \right]}{m - 2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.6.)$$

Если $S_{\text{уд}} \geq 0.05 \div 0.5$, то нужно опробовать другие формы или другие порядки разностного уравнения.

Если объект описывается обыкновенным дифференциальным уравнением 1-го порядка вида (2.3), то точное решение такого уравнения имеет вид:

$$Y(t) = k \cdot X(t_0) \cdot (1 - e^{-(t-t_0)/a_1}) + Y(t_0) \cdot e^{-(t-t_0)/a_1}, \quad (2.7)$$

где $X(t_0)$ – скачѐк значения входной величины в начальный момент t_0 ; $Y(t_0)$ – значение входной величины в момент t_0 ; $Y(t)$ – текущее значение Y .

Из уравнения (2.7) можно получить разностное уравнение путѐм подстановки в него аргумента $t=t_0+\Delta t$:

$$\begin{aligned} Y(t_0 + \Delta t) &= k \cdot X(t_0) \cdot (1 - e^{-\Delta t/a_1}) + Y(t_0) \cdot e^{-\Delta t/a_1} = \\ &= A \cdot X(t_0) + B \cdot Y(t_0). \end{aligned} \quad (2.8)$$

Сопоставляя соответствующие члены уравнения (2.8) и уравнения (2.2) можно найти соотношения, связывающие коэффициенты a_1 и k дифференциального уравнения (2.3) с коэффициентами A_0 и B_0 разностного уравнения: $B_0 = B = e^{-\Delta t/a_1}$; $A_0 = A = k \cdot (1 - e^{-\Delta t/a_1})$ отсюда

$$a_1 = -\Delta t / \ln B_0; \quad k = A_0 / (1 - B_0).$$

Список литературы

1. Земенкова Ю.Д. Эксплуатация объектов газовой промышленности. Учеб. пособие. – М.: Изд.НефтеГаз, 2008.
2. Бахвалов Л.С., Жидков М.П. Кабельков Г.М. Численные методы. Москва, 2000. – 624 с.
3. Турчак Л.И., Плотников П.В. Основы численных методов: Учеб. пособие. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Физматлит, 2003. – 304 с.
4. Долинский М.С. Алгоритмизация и программирование на TURBO PASCAL: от простых до олимпиадных задач. – СПб. Питер, 2005. – 237 с.
5. Бобровский С.И. Delphi7: Учебный курс. – М.: СПб.Питер, 2004. – 736 с.