

Г. Г. МАТУШКИН

Новосибирск

**СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ЧИСЛА ТАКТОВ УРАВНОВЕШИВАНИЯ
АВТОМАТИЧЕСКИХ ЦИФРОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ**

Как известно, автоматические цифровые измерительные приборы (АЦИП) уравнивания в соответствии с логикой их работы могут быть подразделены на циклические и ациклические. Циклические АЦИП обладают постоянным интервалом времени, требуемым для производства одного измерения со всеми вспомогательными операциями, заданным при проектировании АЦИП и не зависящим от изменения измеряемой величины. В ациклических АЦИП интервал времени, требуемый для производства одного измерения, зависит от самого значения измеряемой величины и, следовательно, является величиной переменной. Ациклическая работа АЦИП достигается либо выбором пороговых уровней устройства сравнения, либо соответствующей схемой логических связей цепей управления. Так, ациклические АЦИП следящего и поразрядного уравнивания должны иметь устройство сравнения, обладающее как минимум двумя пороговыми уровнями и зоной нечувствительности, меньшей единицы дискретности шкалы прибора. В разветвляющихся же АЦИП вследствие однонаправленности процесса уравнивания ациклическость процесса измерения может быть достигнута путем изменения логики схемы управления и осуществлена при использовании устройства сравнения с двумя устойчивыми состояниями.

Ациклическая работа измерительных приборов наиболее целесообразна при их использовании в системах автоматического централизованного или множественного контроля при производстве массовых измерений.

При этом пропускная способность такого рода систем будет зависеть от среднего быстродействия измерительного прибора, которое, в свою очередь, зависит не только от быстродействия АЦИП при разовых измерениях, но и от законов распределения измеряемых величин, подаваемых на его вход.

На возможность повышения быстродействия измерительных систем АЦИП с учетом статистических характеристик измеряемых величин указывалось, например, в [1, 2].

Целью настоящей работы является получение статистических характеристик числа тактов уравнивания ациклических десятичных АЦИП при различных законах распределения измеряемой величины и разных методах уравнивания.

Вид законов распределения позволит, например, оценить вероятность показаний с повышенной погрешностью при ограничении времени измерения (ограничении максимального числа тактов уравнивания). Математическое ожидание, т. е. среднее число тактов уравнивания, даст возможность определить наиболее целесообразный в данных условиях метод уравнивания АЦИП при массовых измерениях, когда важное значение имеет среднее время уравнивания.

Для получения указанных характеристик были выбраны, как наиболее часто встречаемые в производственных условиях [3—5], следующие законы распределения измеряемых величин: равномерный, нормальный, экспоненциальный, распределение Рэлея и закон распределения скоростей Максвелла. Причем для следящих АЦИП нормальный закон рассматривался также и в том случае, когда уравнивание измеряемой величины начинается с середины шкалы измерительного прибора, т. е. когда перед первым актом сравнения в приборе устанавливается значение компенсационной величины $A_{к0} = \frac{A_{\max}}{2}$, где A_{\max} — максимальное значение шкалы прибора. При использовании все эти законы распределения принимались усеченными в пределах диапазона шкалы АЦИП и, следовательно, нормировались в пределах от 0 до A_{\max} .

Для нормального закона это нормирование проводилось при условиях, когда математическое ожидание измеряемой величины было равно $M[A] = \frac{A_{\max}}{2}$, а среднеквадратическое отклонение — $\sigma[A] = \frac{A_{\max}}{6}$. Рассмотрен также случай, когда измеряемая величина распределена по нормальному закону с $M[A] = 0, \sigma[A] = \frac{A_{\max}}{3}$.

Нормирование законов распределения Рэлея и скоростей Максвелла производилось в том же диапазоне и, следовательно, при $\sigma[A] = \frac{A_{\max}}{2}$.

Нормирование экспоненциального закона распределения производилось в диапазоне $0 - A_{\max}$ при условии, что функция распределения измеряемой величины на краю диапазона равна $F(A_{\max}) = 0,9973$. Следует также отметить, что для удобства вычислений при получении закона распределения числа тактов уравнивания АЦИП функция распределения измеряемой величины подвергалась ступенчатой аппроксимации с шагом, равным $\frac{A_{\max}}{100}$.

В ациклическом режиме могут использоваться все типы АЦИП, основанные на методе уравнивания: развертывающие, поразрядные и следящие. Рассмотрим их по порядку.

1. *АЦИП развертывающего уравнивания.* АЦИП, основанные на методе развертывающего уравнивания, могут быть двух типов: равномерно-развертывающие АЦИП [6], в которых компенсационная величина формируется либо суммированием одинаковых ступеней, либо в виде линейно изменяющегося пилообразного напряжения (тока, усилия и т. д.), и неравномерно-развертывающие АЦИП [6—8], формирование компенсационной величины в которых осуществляется неравномерными ступенями, зависящими от величины рассогласования.

В приборах равномерно-развертывающего уравнивания число тактов уравнивания прямо пропорционально измеряемой величине A , т. е. $n = kA$, где k — коэффициент пропорциональности, определяющий единицу дискретности шкалы прибора и, следовательно, в данном случае равный единице.

Таблица 1

Числовые характеристики законов распределения числа тактов уравнивания равномерно-развертывающихся и равномерно-следящих АЦИП

Вид закона распределения и величины A	Нормальное распределение						
	а	б	в	г	д	е	ж
Характеристики распределения числа тактов уравнивания n							
Равномерное распределение							
Экспоненциальное распределение							
Распределение Рэлея							
Распределение скоростей Максвелла							
Математическое ожидание $M [A]$	$M [A] = \frac{A_{\max}}{2}$	$M [A] = \frac{A_{\max}}{2}$	$M [A] = \frac{A_{\max}}{2}$	$M [A] = \frac{A_{\max}}{2}$	$M [A] = \frac{A_{\max}}{2}$	$M [A] = \frac{A_{\max}}{2}$	$M [A] = \frac{A_{\max}}{2}$
Среднеквадратическое отклонение $\sigma [A]$	$\sigma [A] = \frac{A_{\max}}{6}$	$\sigma [A] = \frac{A_{\max}}{6}$	$\sigma [A] = \frac{A_{\max}}{6}$	$\sigma [A] = \frac{A_{\max}}{6}$	$\sigma [A] = \frac{A_{\max}}{6}$	$\sigma [A] = \frac{A_{\max}}{6}$	$\sigma [A] = \frac{A_{\max}}{6}$
Максимальное число тактов уравнивания n_{\max}	999 9999	999 9999	999 9999	999 9999	999 9999	999 9999	499 4999
Математическое ожидание $M [n]$	500 5000	172 1720	420 4200	534 5340	500 5000	265 2650	133 1330
Среднеквадратическое отклонение $\sigma [n]$	288 2890	335 3350	218 2180	224 2240	167 1670	198 1980	99 990

Примечания: 1. Числа, стоящие в числителе, относятся к трехразрядным АЦИП, а числа, стоящие в знаменателе, — к четырехразрядным.
2. Значения графы „ж“ относятся к равномерно-следящим АЦИП.

Поскольку линейная функция случайной величины с коэффициентом пропорциональности, равным единице, имеет тот же закон распределения, что и сама случайная величина, и такие же числовые характеристики, то графики плотности распределения числа тактовых импульсов уравнивания для рассматриваемых законов распределения измеряемых величин, отмеченных выше, будут иметь вид, показанный на рис. 1. (Поскольку вид законов распределения числа тактов уравни-

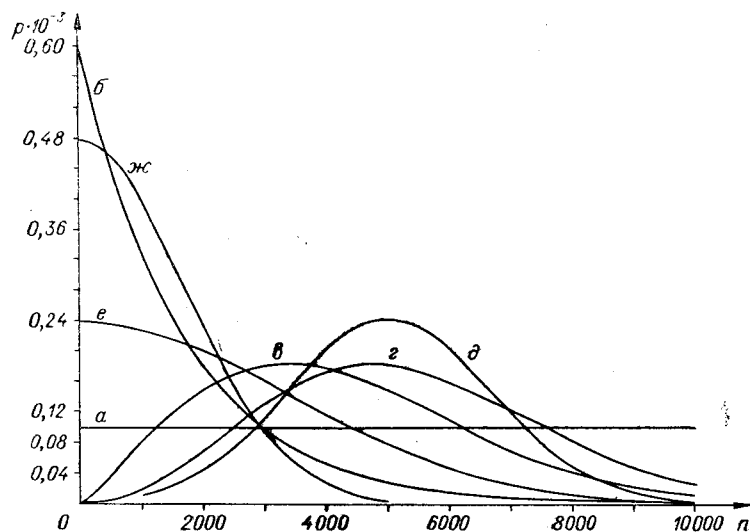


Рис. 1.

вания при данном законе распределения измеряемой величины и данном методе уравнивания практически не будет зависеть от количества разрядов АЦИП, здесь и дальше будут приводиться графики только для четырехразрядных АЦИП.)

Числовые характеристики функций плотности распределений числа тактов уравнивания трех- и четырехразрядных равномерно-развертывающих ациклических АЦИП для этих законов распределения измеряемой величины приведены соответственно в табл. 1.

Следует отметить, что в случае, когда измеряемая величина распределена по нормальному закону с $M [A] = 0$ и $\sigma [A] = \frac{A_{\max}}{3}$, числовые характеристики функции плотности распределения числа тактов уравнивания будут отличаться от характеристик распределения измеряемой величины. Это обстоятельство имеет место потому, что число тактов уравнивания АЦИП зависит от абсолютного значения измеряемой величины и не зависит от ее знака. Следовательно, функция плотности распределения тактов уравнивания при этом будет иметь вид одной положительной ветви нормального закона распределения, соответствующим образом пронормированного, и числовые характеристики ее, естественно, изменятся.

Неравномерно-развертывающие АЦИП отличаются тем, что уравнивание измеряемой величины происходит изменяющимися компенсационными ступенями, зависящими от величины рассогласования без изменения направления уравнивания. Наиболее целесообразно

при этом величины ступеней выбирать равными 1Δ , 11Δ , 111Δ , 1111Δ и т. д., где Δ — единица дискретности младшей декады [8].

Получение аналитического выражения для распределений числа тактов уравнивания АЦИП этого типа в зависимости от законов распределения измеряемых величин затруднительно. Поэтому распределения числа тактов уравнивания этих приборов и их числовых характеристик определены путем моделирования работы АЦИП неравномерно-развертывающего уравнивания на ЭЦВМ.

Схема решающего алгоритма [9] определения закона распределения числа тактов уравнивания неравномерно-развертывающего ациклического АЦИП, а также его числовых характеристик имеет вид

$$I_0 Q_1 \left| \begin{array}{c} Q_2 \\ P_3^j \end{array} \right| Q_4 \left| \begin{array}{c} P_5^{ji} \\ Q_6^i \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} Q_7 \\ Q_8^{ji} \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} Q_9^{ji} \\ P_{10}^{ji} \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} P_{11}^{ji} \\ Q_{12} \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} Q_{13}^j \\ Q_{14} \end{array} \right| Q_{15} Q_{16} Q_{17} Y_{18},$$

где I_0 — оператор начала;

Q_1 — оператор задания начального значения параметра j , соответствующего абсолютным значениям измеряемой величины, кратным единице дискретности шкалы Δ ; начальное значение параметра $j=1$ соответствует значению измеряемой величины $A=1\Delta$;

Q_2 — оператор увеличения параметра j на единицу;

P_3^j — оператор сравнения j -го значения измеряемой величины с константой $10^N \Delta + 1$ (меньше или нет), где N — число декад АЦИП;

Q_4 — оператор задания начального параметра i , порядкового номера порога срабатывания устройства сравнения (начальное значение $i=1$ соответствует величине старшего порога срабатывания устройства сравнения, выраженной в Δ);

P_5^{ji} — оператор сравнения j -го значения измеряемой величины (или модуля $(i-1)$ -й разности) со значением i -го порога срабатывания устройства сравнения (меньше или нет);

Q_6^{ji} — оператор вычитания из j -го значения измеряемой величины (или модуля $(i-1)$ -й разности) ступени компенсационной величины, соответствующей i -му порогу срабатывания устройства сравнения (получение i -й разности);

Q_7 — оператор добавления единицы в счетчик числа тактов уравнивания (формирование n , числа тактов уравнивания);

Q_8^{ji} — оператор получения модуля величины рассогласования;

Q_9^{ji} — оператор замены j -го значения измеряемой величины полученным модулем величины рассогласования;

P_{10}^{ji} — оператор сравнения модуля $(i-1)$ -й разности с i -м порогом срабатывания устройства сравнения [больше (равно) или нет];

P_{11}^{ji} — оператор сравнения измеряемой величины (или модуля величины рассогласования) с 0 (больше или нет);

Q_{12} — оператор увеличения параметра i на единицу;

Q^j — оператор суммирования заранее вычисленной вероятности появления j -го значения измеряемой величины в ячейке, соответствующей вычисленному значению n ;

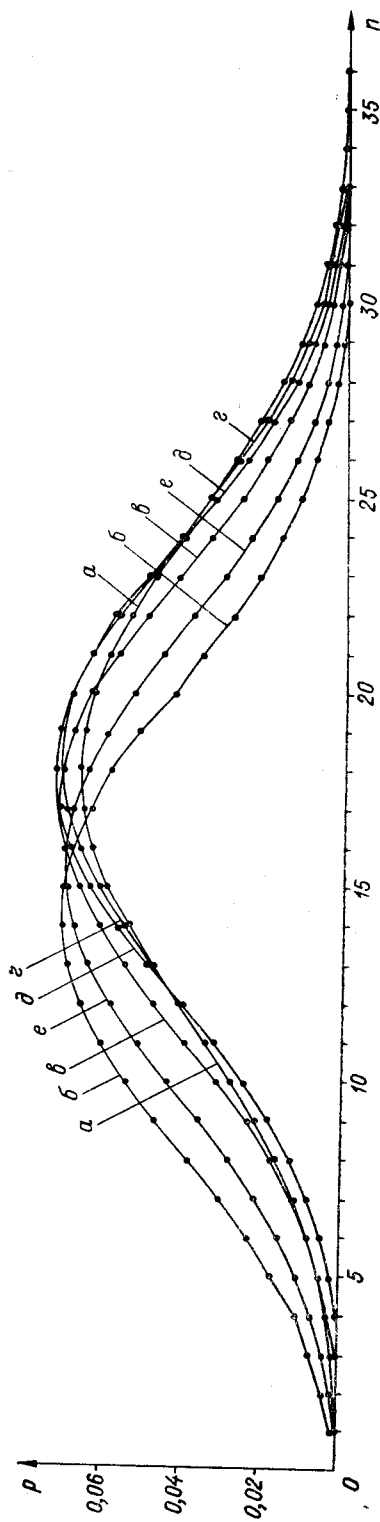


Рис. 2.

$Q_{14}, Q_{15}, Q_{16}, Q_{17}$ — операторы вычисления числовых характеристик закона распределения тактов уравнивания — соответственно математического ожидания, среднеквадратического отклонения, асимметрии и эксцесса; Y_{18} — оператор конца.

Многоугольники распределения числа тактов уравнивания для четырехразрядных неравномерно-развертывающих АСИП показаны на рис. 2, а их числовые характеристики и условия определения приведены в табл. 2.

2. АСИП следящего уравнивания. АСИП следящего уравнивания, так же как и развертывающего, могут быть двух видов: равномерно-следящие АСИП и неравномерно-следящие АСИП. Однако принципиальной особенностью приборов следящего уравнивания является их способность работать в режиме слежения за изменением измеряемой величины без предварительного сброса показания. Полученные ниже законы распределения числа тактов уравнивания и их числовые характеристики полностью справедливы и для этого режима работы, если функции плотности распределения приращений измеряемых величин будут соответствовать принятым выше законам распределения. Равномерно-следящие АСИП имеют преимущество перед равномерно-развертывающими только в режиме слежения за измеряемой величиной без сброса показания. При работе же со сбросом показания равномерно — следящие АСИП не имеют никаких преимуществ перед равномерно-развертывающими, являясь в то же самое время более сложными.

Если учитывать то обстоятельство, что АСИП следящего уравнивания способны реагировать как на положительные, так и на отрицательные изменения измеряемой величины, то все характеристики распределения числа тактов уравнивания равномерно-развертывающих АСИП справедливы и при использовании автоматических цифровых измерительных приборов равномерно-следящего уравнивания.

Неравномерно-следящие АСИП [10—12] обладают значительным преимуществом перед неравномерно-развертывающими в отношении быстродей-

Таблица 2

Числовые характеристики законов распределения числа тактов уравнивания неравномерно-развертывающихся АЦП

Вид закона распределения измеряемой величины A	Равномерное распределение	Экспоненциальное распределение	Распределение Рэлея	Распределение скорости Максвелла	Нормальное распределение	
	а	б	в	г	при $M[A] = \frac{A_{\max}}{2}$ $\sigma[A] = \frac{A_{\max}}{6}$	при $M[A] = 0$ $\sigma[A] = \frac{A_{\max}}{3}$
Характеристики распределения числа тактов уравнивания n					д	е
Максимальное число тактов уравнивания n_{\max}	$\frac{27}{36}$	$\frac{27}{36}$	$\frac{27}{36}$	$\frac{27}{36}$	$\frac{27}{36}$	$\frac{27}{36}$
Математическое ожидание $M[n]$	$\frac{13,51}{18,00}$	$\frac{10,03}{14,47}$	$\frac{12,72}{17,20}$	$\frac{13,67}{18,16}$	$\frac{13,52}{18,00}$	$\frac{11,19}{15,66}$
Среднеквадратическое отклонение $\sigma[n]$	$\frac{4,96}{5,74}$	$\frac{4,41}{5,30}$	$\frac{4,46}{5,30}$	$\frac{4,46}{5,30}$	$\frac{4,31}{5,17}$	$\frac{4,51}{5,36}$
Асимметрия Sk	$\frac{0,01}{0,002}$	$\frac{0,16}{0,08}$	$\frac{0,03}{0,02}$	$\frac{0,02}{0,01}$	$\frac{-0,01}{-0,0003}$	$\frac{0,08}{0,04}$
Экцесс Ex	$\frac{-0,43}{-0,31}$	$\frac{-0,46}{-0,34}$	$\frac{-0,42}{-0,31}$	$\frac{-0,43}{-0,32}$	$\frac{-0,47}{-0,34}$	$\frac{-0,46}{0,33}$

ствия, и их вполне целесообразно использовать не только в режиме слежения за изменением измеряемой величины, но и в режиме разовых измерений, а также в системах централизованного и множественного контроля. Это объясняется преимуществами, которые дает возможность в АЦИП следящего уравнивания изменять направление процесса уравнивания измеряемой величины. Неравномерно-следящее уравнивание может быть также организовано различными способами в зависимости от порогов срабатывания устройства сравнения и выбора ступеней компенсационной величины.

В [13] показано, что наибольшим быстродействием АЦИП неравномерно-следящего уравнивания будет обладать при количестве порогов срабатывания устройства сравнения, равном $N+1$ (где N — число десятичных разрядов), настроенных на уровни, примерно равные полусумме ступеней компенсационной величины соответствующих декад. Поэтому законы распределения тактов уравнивания и их числовые характеристики определялись для этого оптимального случая.

Схема решающего алгоритма для получения закона распределения числа тактов уравнивания неравномерно-следящих АЦИП и его числовых характеристик аналогична схеме решающего алгоритма для АЦИП неравномерно-развертывающего уравнивания.

Многоугольники распределения числа тактов уравнивания неравномерно-следящих АЦИП и их статистические характеристики (соответствующие оптимальному случаю), полученные путем моделирования их работы на ЭЦВМ, приведены соответственно на рис. 3 и в табл. 3.

3. АЦИП поразрядного уравнивания. Схема решающего алгоритма определения закона распределения числа тактов уравнивания и его числовых характеристик поразрядных АЦИП будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned}
 & I_0 Q_1 \left| \begin{array}{c} Q_2 P_3^1 \\ 1 \end{array} \right| Q_4 \left| \begin{array}{c} P_5^{j_1} \\ 2 \\ 5 \end{array} \right| Q_6^i Q_7 \left| \begin{array}{c} Q_8^i \\ 3 \\ 2 \end{array} \right| Q_9^i Q_9 \left| \begin{array}{c} P_{10}^{j_1} \\ 4 \end{array} \right| \times \\
 & \times Q_{11} \left| \begin{array}{c} Q_{12}^j \\ 5 \\ 4 \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} Q_{13} \\ 6 \\ 1 \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} Q_{14} \\ 13 \\ 1 \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} Q_{15} \\ 14 \\ 1 \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} Q_{16} \\ 15 \\ 1 \end{array} \right| Y_{17}.
 \end{aligned}$$

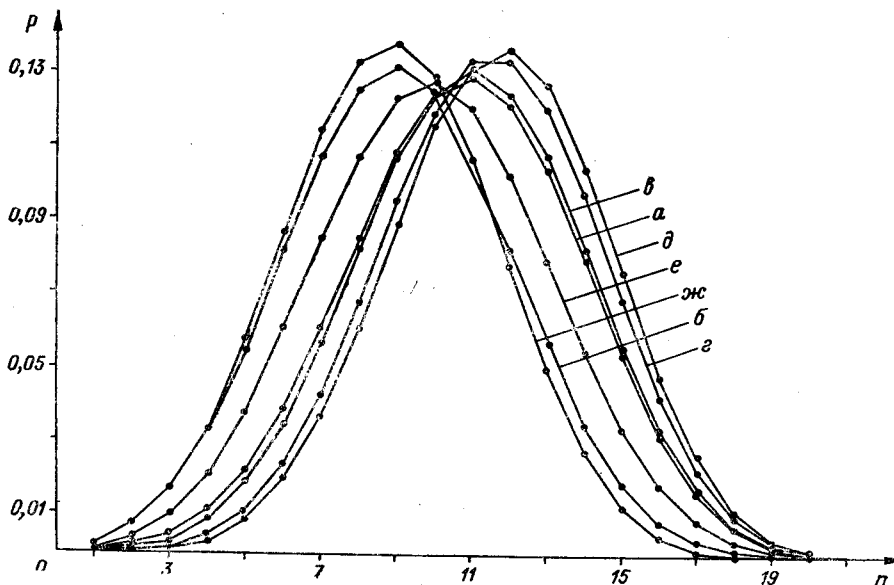


Рис. 3.

Таблица 3

Числовые характеристики распределения числа тактов уравновешивания неравномерно-следящих АЦИП

Вид закона распределения измеряемой величины A	Нормальное распределение						
	а	б	в	г	д	е	
Характеристики распределения числа тактов уравновешивания n	Равномерное распределение	Экспоненциальное распределение	Распределение Рэлея	Распределение скоростей Максвелла	при $M[A] = \frac{A_{\max}}{2}$ $\sigma[A] = \frac{A_{\max}}{6}$	при $M[A] = 0$ $\sigma[A] = \frac{A_{\max}}{3}$	при $M[A] = \frac{A_{\max}}{2}$ $\sigma[A] = \frac{A_{\max}}{6}$ $A_{K0} = \frac{A_{\max}}{2}$
	ж	з	и	к	л	м	н
Максимальное число тактов уравновешивания n_{\max}	$\frac{15}{20}$	$\frac{15}{20}$	$\frac{15}{20}$	$\frac{15}{20}$	$\frac{15}{20}$	$\frac{15}{20}$	$\frac{14}{19}$
Математическое ожидание $M[n]$	$\frac{8,34}{10,80}$	$\frac{6,64}{9,08}$	$\frac{8,50}{10,96}$	$\frac{9,03}{11,49}$	$\frac{9,26}{11,72}$	$\frac{7,46}{9,93}$	$\frac{6,41}{8,85}$
Среднеквадратическое отклонение $\sigma[n]$	$\frac{2,64}{3,02}$	$\frac{2,56}{2,95}$	$\frac{2,56}{2,94}$	$\frac{2,46}{2,85}$	$\frac{2,42}{2,82}$	$\frac{2,66}{3,04}$	$\frac{2,88}{2,79}$
Асимметрия Sk	$\frac{-0,08}{-0,06}$	$\frac{0,15}{0,08}$	$\frac{-0,05}{-0,03}$	$\frac{-0,08}{-0,05}$	$\frac{-0,10}{-0,06}$	$\frac{-0,06}{0,03}$	$\frac{-0,05}{0,02}$
Экцесс Ex	$\frac{-0,36}{-0,24}$	$\frac{-0,31}{-0,21}$	$\frac{-0,38}{-0,26}$	$\frac{-0,37}{-0,25}$	$\frac{-0,36}{-0,24}$	$\frac{-0,37}{-0,25}$	$\frac{-0,42}{-0,27}$

Операторы $I_0, Q_1, Q_2, P_3^j, Q_4, P_5^j, Q_6^j, Q_7$ данной схемы соответствуют аналогичным операторам схемы решающего алгоритма для АЦИП неравномерно-следящего и неравномерно-развертывающего уравнивания. Следует только иметь в виду, что вместо i -го порога срабатывания устройства сравнения здесь будет фигурировать i -я ступень компенсационного напряжения. Оператор Q_9 аналогичен оператору Q_7 , и, наконец, операторы $Q_8^j, P_{10}^j, Q_{11}, Q_{12}^j, Q_{13}, Q_{14}, Q_{15}, Q_{16}$ и $Я_{17}$ соответственно равноценны операторам $Q_9^j, P_{11}^j, Q_{12}, Q_{13}, Q_{14}, Q_{15}, Q_{16}, Q_{17}$ и $Я_{18}$.

Десятичные АЦИП поразрядного уравнивания могут отличаться видом двоично-десятичного кода, по которому формируются ступени компенсационного напряжения соответствующих декад. Поэтому построение многоугольников распределений числа тактов уравнивания проведено для случаев использования кодов 8421, 7321, 6421, 6221, 5211, 5311, 4421, 4221 и 3321, как оптимальных для применения в поразрядных АЦИП [14].

Как следует из полученных многоугольников распределений (рис. 4), вид распределения тактовых импульсов уравнивания, а следова-

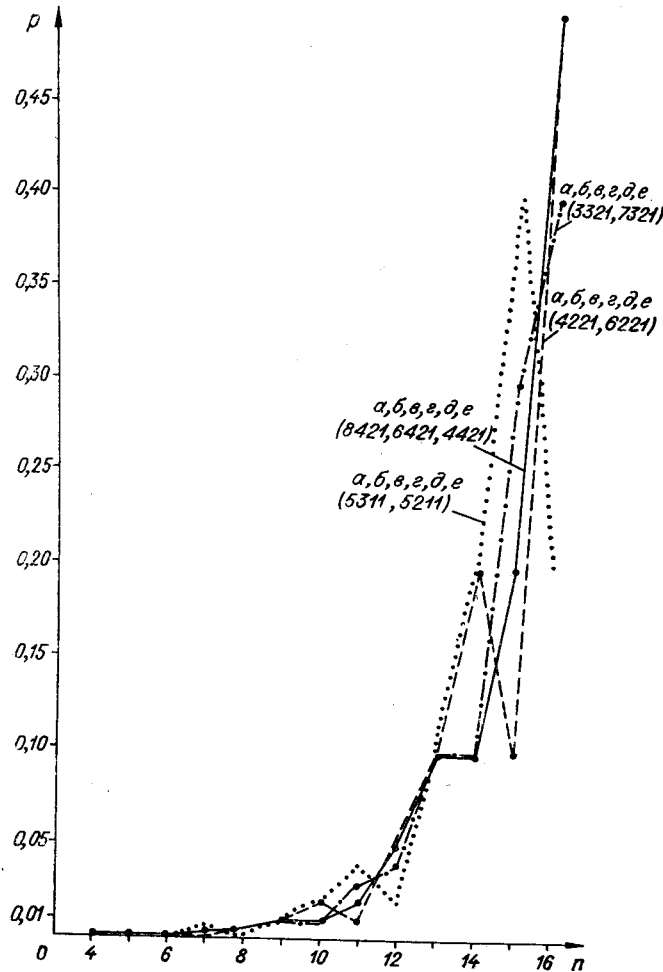


Рис. 4.

Таблица 4
Числовые характеристики законов распределения числа тактов уравновешивания поразрядных АЦП при коде 4221

Вид закона распределения измеренной величины A	Нормальное распределение					
	а	б	в	г	д	е
Характеристики распределения числа тактов уравновешивания n	Равномерное распределение	Экспоненциальное распределение	Распределение Рэлея	Распределение скоростей Максвелла	при $M[A] = \frac{A_{\max}}{2}$ $\sigma[A] = \frac{A_{\max}}{6}$	при $M[A] = 0$ $\sigma[A] = \frac{A_{\max}}{3}$
Максимальное число тактов уравновешивания n_{\max}	$\frac{12}{16}$	$\frac{12}{16}$	$\frac{12}{16}$	$\frac{12}{16}$	$\frac{12}{16}$	$\frac{12}{16}$
Математическое ожидание $M[n]$	$\frac{10,67}{14,67}$	$\frac{10,68}{14,67}$	$\frac{10,67}{14,67}$	$\frac{10,67}{14,67}$	$\frac{10,67}{14,67}$	$\frac{10,67}{14,67}$
Среднеквадратическое отклонение $\sigma[n]$	$\frac{1,74}{1,78}$	$\frac{1,73}{1,78}$	$\frac{1,77}{1,76}$	$\frac{1,77}{1,77}$	$\frac{1,77}{1,76}$	$\frac{1,75}{1,78}$
Асимметрия Sk	$\frac{-1,66}{-1,82}$	$\frac{-1,61}{-1,80}$	$\frac{-1,74}{-1,84}$	$\frac{-1,73}{-1,84}$	$\frac{-1,75}{-1,85}$	$\frac{-1,69}{-1,83}$
Экцесс Ex	$\frac{3,49}{4,70}$	$\frac{3,11}{4,53}$	$\frac{3,99}{4,94}$	$\frac{3,93}{4,91}$	$\frac{4,06}{4,98}$	$\frac{3,63}{4,71}$

тельно, и их числовые характеристики (табл. 4) практически не зависят от закона распределения измеряемой величины. Так, например, различие в математических ожиданиях распределений тактовых импульсов уравнивания для рассмотренных законов распределения измеряемой величины при любом из указанных выше кодов оказалось менее 0,015%, а в среднеквадратических отклонениях не более 1%.

При использовании различных двоично-десятичных кодов многоугольники распределения тактовых импульсов уравнивания могут отличаться друг от друга, однако их числовые характеристики различаются весьма незначительно. Так, для полученных распределений тактов уравнивания при приведенных выше двоично-десятичных кодах максимальная разница между математическими ожиданиями составила 3,2%, а между среднеквадратическими отклонениями 6,2% (табл. 5).

Таблица 5

Средние числовые характеристики законов распределения тактов уравнивания поразрядных десятичных четырехразрядных АЦИП при различных используемых кодах

Числовые характеристики	Код									
	8421	7321	6421	6221	5311	5211	4421	4221	3321	
Максимальное число тактов уравнивания n_{\max}	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Математическое ожидание $M[n]$	14,78	14,67	14,78	14,67	14,33	14,33	14,78	14,67	14,67	14,67
Среднеквадратическое отклонение $\sigma [n]$	1,74	1,71	1,74	1,78	1,67	1,67	1,74	1,77	1,72	1,72
Асимметрия Sk	-1,98	-2,01	-1,99	-1,82	-2,05	-2,06	-1,99	-1,82	-2,02	-2,02
Экссесс Ex	5,22	5,52	5,31	4,68	6,17	6,23	5,31	4,75	5,64	5,64

Анализируя работу различных типов ациклических АЦИП, а также полученные законы распределения числа тактов уравнивания и их числовые характеристики, можно сделать следующие выводы.

Законы распределения числа тактовых импульсов уравнивания неравномерно-развертывающих и неравномерно-следающих АЦИП при большинстве практически встречающихся законов распределения измеряемой величины и принятых условиях нормирования весьма близки к нормальным. Это обстоятельство позволяет при необходимости ограничить максимальное число тактов уравнивания без значительного увеличения числа показаний с повышенной погрешностью.

При использовании АЦИП неравномерно-следающего уравнивания в системах централизованного и множественного контроля можно, как и в случае равномерно-следающего уравнивания, уменьшить не только максимальное, но и среднее число тактов уравнивания на одно измерение.

Однако если в первом случае число тактов уравнивания уменьшается на 50%, то в случае неравномерно-следающего уравнивания уменьшение составляет всего один такт, и, таким образом, для четырехразрядного АЦИП оно составляет всего 5% общего числа тактов.

Ациклические АЦИП неравномерно-следающего уравнивания при оптимально-выбранных порогах срабатывания устройства сравне-

ния обладают в среднем большим быстродействием, чем подобные приборы поразрядного, а тем более неравномерно-развертывающего уравновешивания.

Закон распределения числа тактов уравновешивания поразрядных АЦИП, а следовательно, и его числовые характеристики, практически не зависят от вида закона распределения измеряемых величин, встречающихся в производственных условиях, и очень мало зависят от вида применяемого двоично-десятичного кода.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Рабинович, М. П. Цапенко. Информационные характеристики измерительных систем.— Конференция по автоматическому контролю и методам электрических измерений. Тезисы докладов и сообщений. Новосибирск, 1962.
2. Н. И. Гореликов, А. Н. Касперович, И. И. Коршевер, М. П. Цапенко. О построении цифровых измерительных приборов уравновешивания с переменной структурой.— Автометрия, 1965, № 4.
3. П. П. Месяцев. Применение теории вероятностей и математической статистики при конструировании и производстве радиоаппаратуры. М., Оборонгиз, 1958.
4. В. П. Гусев, А. В. Фомин, Г. М. Куньявский, Ю. Г. Обичкин, Е. А. Молостов, А. С. Назаров, М. А. Сахаров, А. К. Гребнев. Расчет электрических допусков радиоэлектронной аппаратуры. Под ред. В. П. Гусева и А. В. Фомина. М., «Советское радио», 1963.
5. Я. Б. Шор. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности. М., «Советское радио», 1962.
6. Ф. Е. Темников. Теория развертывающих систем. М.—Л., Госэнергоиздат, 1963.
7. М. П. Цапенко. О классификации цифровых измерительных приборов.— Измерительная техника, 1961, № 5.
8. Г. П. Шлыков. Цифровой вольтметр с параллельно-последовательной обработкой.— Приборостроение, 1966, № 3.
9. Н. А. Крилицкий, Г. А. Миронов, Г. Д. Фролов. Программирование. М., «Наука», 1966.
10. М. П. Цапенко. Автоматические измерительные компенсаторы с декадными магазинами сопротивлений.— Приборостроение, 1967, № 1.
11. А. А. Маслов, Ю. Г. Пурлов. Электромеханический цифровой вольтметр.— Приборостроение, 1962, № 5.
12. А. Б. Белослюдов, Г. П. Крылова. О возможности применения параллельно-последовательного следящего кодирования в цифровых вольтметрах.— VII Всесоюзная конференция по автоматическому контролю и методам электрических измерений. Тезисы докладов и сообщений. Новосибирск, 1965.
13. И. Ф. Клисторин, Г. Г. Матушкин. О выборе порогов срабатывания устройства сравнения цифровых измерительных приборов неравномерно-следящего уравновешивания.— Автометрия, 1967, № 2.
14. В. В. Ефименко. О выборе двоично-десятичного кода в приборах поразрядного уравновешивания.— Автоматический контроль и методы электрических измерений (Труды V конференции), т. I. Новосибирск, «Наука», 1965.

*Поступила в редакцию
28 марта 1966 г.*