

УДК 522 798 2.8

**А.Б. Букач, доцент, канд. техн. наук***Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua***НЕКОТОРЫЕ ОЦЕНКИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ**

*Проводится расчет числа градаций цифровых измерительных приборов, регистрирующих световое излучение, для определения информационных характеристик проектируемой аппаратуры с заданной погрешностью.*

**Ключевые слова:** *информационная характеристика, число градаций, разрешающая способность, динамический диапазон, погрешность.*

При разработке цифровой измерительной аппаратуры необходимо определять объем памяти, динамический диапазон, погрешности и другие характеристики. Лучше всего это делать с помощью информационных критериев, которые характеризуют как аппаратуру, так и саму измеряемую величину. Известно, что по ряду причин практически не нашли широкого применения информационные критерии, достаточно объективные и независимые от способов реализации аппаратуры [1–3]. Актуальной задачей является усовершенствование способов определения информационных характеристик аппаратуры, учитывающих вероятностный характер измеряемого сигнала.

**Целью настоящей работы** является определение более приемлемых в практике инженерных расчетов соотношений, позволяющих определить метрологические характеристики аппаратуры с учетом статистических флуктуаций входного сигнала.

Рассмотрим цифровую аппаратуру по регистрации потоков света, работающей по методу счета фотонов [2]. Измерительная аппаратура характеризуется некоторой величиной погрешности в любой точке динамического диапазона. Чем больше эта погрешность, тем меньше разрешающая способность прибора, т.е. меньшее число градаций или уровней сигнала можно различить во всем динамическом диапазоне прибора. Определим протяженность ступеньки  $\Delta_i$  между двумя произвольными уровнями сигнала  $\bar{N}_i$  и  $\bar{N}_{i-1}$  (рисунок 1). Выбор среднеарифметического значения  $\bar{N}_i$  зависит от дисперсий самого значения  $\bar{N}_i$ , а также от  $D(\bar{N}_{i-1})$ . При общей независимости отсчетов выбор одного уровня  $\bar{N}_i$  зависит только от величины предыдущего уровня  $\bar{N}_{i-1}$ . Таким образом, в этом случае для двух произвольных значений применима формула алгебраического суммирования составляющих погрешности

$$\Delta_i = K_{\Delta} \left[ \sqrt{D(\bar{N}_i)} + \sqrt{D(\bar{N}_{i-1})} \right], \quad (1)$$

где  $K_{\Delta}$  – коэффициент, определяющий вероятность различия соседних уровней.

Предположим, что аппаратура не изменяет закона распределения измеряемой случайной величины на выходе прибора. Если полученные отсчеты подчиняются закону Пуассона, то тогда протяженность ступеньки  $\Delta_i$  (рисунок 1) найдем из следующего соотношения:

$$\Delta_i = K_{\Delta} \sqrt{(\bar{N}_i) + \sqrt{(\bar{N}_{i-1})}}. \quad (2)$$

Из условия (1) следует, что  $\bar{N}_{i-1} = \bar{N}_i - \Delta_i$ , тогда

$$\Delta_i^2 = K_{\Delta}^2 \left[ \bar{N}_i + 2\sqrt{\bar{N}_i(\bar{N}_i - \Delta_i)} + \bar{N}_i - \Delta_i \right] \quad (3)$$

или после преобразования

$$\Delta_i = 2K_{\Delta} \sqrt{\bar{N}_i} - K_{\Delta}^2. \quad (4)$$

Подстановка в (2) выражения  $\bar{N}_{i+1} = \bar{N}_i + \Delta_i$  приводит к следующему уравнению:

$$\Delta_{i+1} = 2K_{\Delta} \sqrt{\bar{N}_i} + K_{\Delta}^2. \quad (5)$$

Полученные соотношения (4) и (5) существенно отличаются от используемой обычно формулы. Это объясняется принятым предположением о зависимости отсчетов  $\bar{N}_i$  и  $\bar{N}_{i-1}$ . В этом случае, такое

допущение в большой степени соответствует физической сущности рассматриваемых измерений. Отличительная особенность полученных формул заключается в их применимости для инженерной методики проектирования. В дальнейшем коэффициент  $K_{\Delta}$  можно будет интерпретировать по-другому, чем в известных соотношениях [3–6]. Он позволит задавать вероятность определения не только протяженности ступеньки, но и ширины полосы погрешностей, т.е.  $\pm K\sigma$  (рисунок 1).

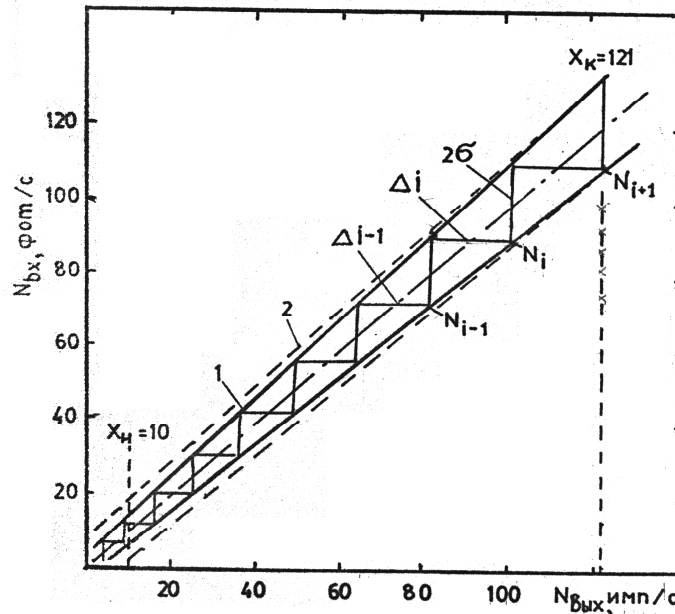


Рисунок 1 – Полоса погрешностей измерительного прибора в диапазоне скоростей счета от  $N_H = 10$  имп/с до  $N_K = 121$  имп/с; 1 – при отсутствии помех; 2 – при уровне аддитивных помех (шумы) —  $n_{ш} = 50$  имп/с

Определим разрешающую способность прибора. Для этого рассмотрим вариации показаний измеряемой величины вдоль полосы погрешностей, т.е. в динамическом диапазоне от  $X_H$  до  $X_K$ . С заданной коэффициентом  $K$  доверительной вероятностью отсчет каждого отдельного измерения  $N_i$  находится в интервале

$$\bar{N}_i - K\sigma(\bar{N}_i, g_n) < N_i < \bar{N}_i + K\sigma(\bar{N}_i, g_n), \tag{6}$$

где  $\sigma(\bar{N}_i, g_n)$  — среднеквадратичное отклонение измеряемой величины;  $K$  — коэффициент, определяющий величину доверительного интервала [4];  $g_1, g_2, \dots, g_n$  — влияющие величины: помехи, параметры аппаратуры и т.д.

При  $N_i \geq 1$  закон Пуассона вырождается в нормальный. Поэтому можно принять значение коэффициента  $K=1,2,3$  для достоверных вероятностей 0,67; 0,95; 0,997 соответственно. С учетом коэффициента  $K$  в каждой точке динамического диапазона относительное значение результирующей погрешности регистрации равно  $\pm \frac{1}{K} \delta(\bar{N}_i, g_n)$ .

Возьмем для упрощения расчетов только  $\pm \frac{1}{K} \delta(\bar{N}_i, g_n)$ , т.е. будем рассматривать половину ширины полосы погрешности. Введем понятие некоторой площади  $S_{\delta}$ , равной эквивалентной средней ошибке прибора во всем динамическом диапазоне. Это позволит учесть все погрешности, вносимые в результирующую ошибку  $\delta(\bar{N}_i, g_n)$  возмущающими факторами. На основании известного определения интеграла, площадь, ограниченную кривой, найдем по формуле

$$S_{\delta} = \int_{N_H}^{N_K} \frac{1}{K} \delta(N_i, g_n) dN, \tag{7}$$

где  $N_K$  и  $N_H$  — значение верхней и нижней границы динамического диапазона в единицах скорости счета (имп/с). Средняя относительная ошибка одного измерения равна

$$\delta_{cp} = \frac{S_{\delta}}{N_K - N_H} . \quad (8)$$

Для абсолютного значения полуширины эквивалентной полосы погрешностей  $\Delta = \frac{1}{\delta_{cp}}$  с учетом (7) и (8) получим

$$\Delta = \frac{N_K - N_H}{N_K} \cdot \int_{N_H}^{N_K} \frac{1}{K} \delta(N_1 g_n) dN \quad (9)$$

Найденная величина  $\Delta$  определяет в координатах  $N_{вых}$  от  $N_{вх}$  ширину некоторой прямоугольной полосы погрешностей. Пользуясь известной теоремой Шеннона [5] можно заменить полосу погрешностей с произвольным законом распределения равномерной, но имеющей то же значение энтропии. Для упрощения расчетов произведем такую замену, когда исходная энтропия для полосы погрешностей с равномерным законом распределения, т.е.  $P(N) = \frac{1}{N_K - N_H}$  равна

$$H(N) = - \int_{X_H}^{X_K} P(N) \cdot \ln p(N) dN = \ln(X_K - X_H) . \quad (10)$$

Условная энтропия для равномерного закона может быть получена

$$H(N/N_i) = \int_{N_i - \Delta}^{N_i + \Delta} \frac{1}{2\Delta} \ln \cdot \frac{1}{2\Delta} dN = \ln 2\Delta , \quad (11)$$

где  $\Delta$  – погрешность одного измерения.

Количество информации, зарегистрированное в результате намерения, равно

$$q = H(N) - H(N/N_i) = \ln \frac{N_K - N_H}{2\Delta} , \quad (12)$$

Выражение, аналогичное (12), выведено в [3] при использовании понятия дифференциальной энтропии.

Число градаций, различаемых в полосе погрешностей с равномерным законом распределения измеряемой величины по динамическому диапазону, или разрешающую способность, найдем из (12) следующим образом:

$$Q = \frac{N_K - N_H}{2\Delta} \quad (13)$$

Поставив в (13) выражение (9), окончательно имеем

$$Q = \frac{1}{2K} \int_{N_H}^{N_K} \delta(N_1 g_n) dN . \quad (14)$$

Полученное соотношение (14) позволяет в полосе погрешностей найти число различаемых градаций сигнала. Его отличительной особенностью является прямая зависимость величины  $Q$  от суммарной погрешности измерений, ширина полосы неопределенности и динамического диапазона прибора. Кроме этого, соотношение (14) отличается сравнительной простотой определения разрешающей способности аппаратуры.

Произведем анализ уравнения (14). Чем больше площадь, ограниченная кривой относительной погрешности  $\delta(N_1 g_n)$ , тем большее число градаций характеризует шкалу прибора. Увеличение площади может происходить за счет роста динамического диапазона  $D_{II} = \frac{N_K}{N_H}$  при  $K=1$ . Влияющие величины

$g_n$  снижает величину диапазона  $D_{II}$ , увеличивая  $\delta(N_1 g_n)$  выше допустимой. Чем меньше  $K$ , тем в более широком диапазоне можно допускать влияние возмущающих факторов, и тем больше градаций различимо. Например, снизу динамический диапазон ограничивает шумы, а сверху «мертвое» время, квантовая эффективность в случае, когда измеряется источник света. При воздействии шумов, за

нижнюю границу  $N_H$  принимается такое значение входного сигнала  $\bar{N}_i$ , при котором ошибка, вносимая в результирующую погрешность шумами, меньше заданной величины. Это приводит в сужению динамического диапазона по сравнению с идеализированным, уменьшению  $S_\delta$ , а значит и к уменьшению разрешающей способности. Снижение уровня шумов наоборот увеличивает число градаций, различаемых прибором.

Таким образом, на основании вышеизложенного, при проектировании аппаратуры по информационным критериям необходимо выполнить следующие мероприятия.

1. Найти аналитическую зависимость относительной суммарной погрешности  $\delta(N_1 g_n)$  от величины входного сигнала  $N$  и возмущающих факторов  $g_n$ .

2. Выбрать доверительный интервал поперек полосы погрешности прибора, приняв значение коэффициента  $K$  равное 1, 2 или 3.

3. Определить динамический диапазон реального прибора. Величины  $X_K$  и  $X_H$  задаются такими, при которых погрешность, вносимая  $\delta(N_1 g_n)$  возмущающими факторами не превышает заданной величины.

4. В найденном динамическом диапазоне  $D_D$  определить реальное число градаций (разрешающую способность) прибора по формуле (14). В соответствии с требуемым значением  $D_p$ , найти максимально возможное число градаций.

5. Зная число градаций, можно определить по известной формуле Шеннона [5] количество измеряемой информации, объем необходимой памяти регистрирующего устройства.

В дальнейшем планируется распространить данную методику на другие виды приборов и провести расчет параметров реальной аппаратуры.

#### **Библиографический список использованной литературы**

1. Новицкий П.В. Основы информационной теории измерительных устройств / П.В. Новицкий. — М.: Энергия, 1988. — 324 с.
2. Гуревич С.В. Эффективность и чувствительность телевизионных систем / С.В. Гуревич. — М.: Энергия, 1964. — 326 с.
3. Шаракшанэ А.С. Оценка характеристик сложных автоматизированных систем / А.С. Шаракшанэ, А.К. Халецкий. — М.: Машиностроение, 1993. — 248 с.
4. Новицкий П.В. Оценка погрешностей результатов измерений / П.В. Новицкий, И.А. Зограф. — Л.: Энергоатомиздат, 1991. — 358 с.
5. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетики / К. Шеннон. — М.; 1963. — 354 с.
6. Встовский Г.В. Элементы информационной физики / Г.В. Встовский. — М.: МГИУ, 2002. — 286 с.

*Поступила в редакцию 03.03.2013 г.*

#### **Букач А.Б. Деякі оцінки інформаційних характеристик вимірювальних приладів**

Проведено розрахунок числа градаций цифрових вимірювальних приладів, що реєструють світлове випромінювання, для визначення інформаційних характеристик апаратури, яка проектується із заданою похибкою.

**Ключові слова:** інформаційні характеристики, число градаций, роздільна здатність, динамічний діапазон, похибка.

#### **Bukach A.B. Some estimation of metering equipment data characteristics**

The calculation of number of gradations of digital metering equipment that registers light emission is carried out to determine data characteristics of designed equipment with preselected inaccuracy.

**Keywords:** data characteristic, number of gradation, resolution capability, dynamic range, inaccuracy.