

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Совершенствование режимов работы гидротранспортных установок технологий углеобогащения / Е.Л. Звягильский, Б.А. Блюсс, Е.И. Назимко, Е.В. Семененко. – Севастополь: «Вебер», 2002. – 247 с.
2. Проблемы разработки россыпных месторождений / И.Л. Гуменик, А.М. Сокил, Е.В. Семененко и др.. – Днепропетровск: Січ, 2001. – 224 с.
3. Нурок Г.А. Процессы и технология гидромеханизации открытых горных работ. - М.: Недра, 1985.- 287 с.
4. Семененко Е.В., Смоленский Е.С. Оценка возможности тепловой защиты трубопровода гидротранспортной установки внешним покрытием // Обогащение полезных ископаемых, 2002, № 14(55). - С. 68 - 74.
5. Семененко Е.В. Зависимость параметров гидротранспорта от температуры гидросмеси // “Геотехническая механика. Разработка месторождений твердых полезных ископаемых”, Днепропетровск, 1997, Вып. 2. - С. 80 - 84.
6. Семененко Е.В., Шмелев Н.А. Исследование эффективности тепловой защиты гидротранспортной установки // Геотехническая механика. - Днепропетровск, 2003. - Вып. № 42. - С. 68 – 73.

УДК [622.673.1 : 681.514.54]

Канд. техн. наук В.В. Лопатин  
(ИГТМ НАН Украины)

### **КВАНТОВАНИЕ УДАРНЫХ ИМПУЛЬСОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОДЪЕМНОГО СОСУДА С АРМИРОВКОЙ ПО УРОВНЮ И МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КВАНТОВАНИЯ**

У роботі пропонується такий підхід, що для реальних умов дозволить одержати наближену, але достатньо прийнятну з практичної точки зору методику оцінки квантування ударних імпульсів взаємодії підйомної посудини з жорстким армуванням. Показано, що погрішність квантування при розрядності АЦП апаратури експрес-діагностики динамічного стану системи “підйомна посудина-жорстке армування” більш десяти не робить істотного впливу на точнісні характеристики виміру параметрів коливань підйомної посудини, і очевидна перевага АЦП циклічної дії (методів інтегрування), що має меншу погрішність.

### **QUANTIZATION OF SHOCK PULSES OF INTERACTION OF A LIFTING DEVICE WITH STIFF REINFORCEMENT AND TECHNIQUE OF AN ESTIMATION OF QUANTIZATION**

The work offers such approach which for real conditions will allow to receive approached, but acceptable enough from the practical point of view technique of an estimation of quantization of shock pulses of interaction of an elevating vessel with stiff reinforcement . Is shown, that the error of quantization at word length analogy-to-digital transformer of the equipment of express train - diagnostics of a dynamic condition of system " a lifting device - stiff reinforcement" more to than ten does not render essential influence on accuracy parameters of the characteristic's measurement of fluctuations parameters of an elevating vessel, the advantage analogy-to-digital transformer of cyclic action (methods of integration), having a smaller error is obvious.

Исследованиям статистических свойств квантового сообщения и погрешностей квантования посвящено большое количество работ. В общем случае вероятностные характеристики погрешностей квантования зависят от многих причин и являются весьма сложными. Поэтому автором предлагается такой подход, который для реальных условий позволит получить приближенную, но достаточно приемлемую с практической точки зрения методику оценки квантования ударных импульсов взаимодействия подъемного сосуда с армировкой.

Погрешности квантования являются неустранимыми погрешностями цифровых систем передачи информации. Они возникают вследствие замены истинного значения сообщения  $U$  (или координат сообщения  $U(t_k)$ ) разрешенным квантованным  $U_i$ . Погрешность квантования - случайная величина, и в общем случае ее плотность распределения вероятностей зависит от распределения вероятностей сообщения, способов разбивки сигнала и отождествления истинного значения уровня с квантованным.

Известно, что если априорное распределение передаваемого сообщения (или выборки сообщения) равномерно:  $W(U)=1/\Lambda$  [1], то оптимальным по критерию минимума средней квадратичной ошибки является квантование с шагом

$$\Delta_{кв} = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{L_{кв} - 1} = \frac{\Lambda}{L_{кв} - 1},$$

где  $\Lambda$  - шкала сообщения;  $L_{кв} - 1$  - число интервалов (шагов) квантования;  $L_{кв} = 2^N$  - число уровней квантования, 2 - основание кода,  $N$  - число разрядов кода.

Если распределение  $W(U)$  неравномерное, как для нашего ударного импульса, то для обеспечения минимума средней квадратичной погрешности квантования при заданном числе уровней квантования участки шкалы, характеризующие малой вероятностью, следует квантовать реже (с большим шагом), т.е. оптимальным является неравномерное квантование.

Статистические характеристики ошибки квантования при малом шаге квантования  $\Delta_{кв}$  определяются следующим выражением (плотность распределения вероятностей ошибки квантования равномерная):

$$\omega(\varepsilon_{кв}) = \begin{cases} 1/\Delta_{кв} & \text{при } -\frac{\Delta_{кв}}{2} \leq \varepsilon_{кв} < \frac{\Delta_{кв}}{2} \\ 0 & \text{вне интервала} \end{cases}.$$

Квантование по уровню определяет тип аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Существует несколько способов аналого-цифрового преобразования, но распространены и отработаны только два: метод последовательных сравнений и метод с интегрированием. На рис. 1 показан процесс квантования, при котором входной сигнал  $U(t)$  преобразован в ступенчатый с помощью АЦП следящего типа (метод последовательных сравнений).

Погрешность квантования - это разность между входным и ступенчатым сигналом  $\Delta = U - \Delta_{кв}$ , где  $\Delta_{кв}$  - шаг квантования. Изменение погрешности в процессе квантования образует сигнал, называемый шумом квантования. В АЦП следящего типа предельное значение погрешности квантования  $\Delta_{np} = \pm \Delta_{\phi}$  соответствует выбранной ступени квантования. Существенно меньше погрешность квантования у приборов циклического действия (метод с интегрированием),

синхронизированных так, что переход из одного квантованного состояния в среднее рис. 2 совпадает с достижением погрешности, равной  $\Delta_{кв}/2$ .

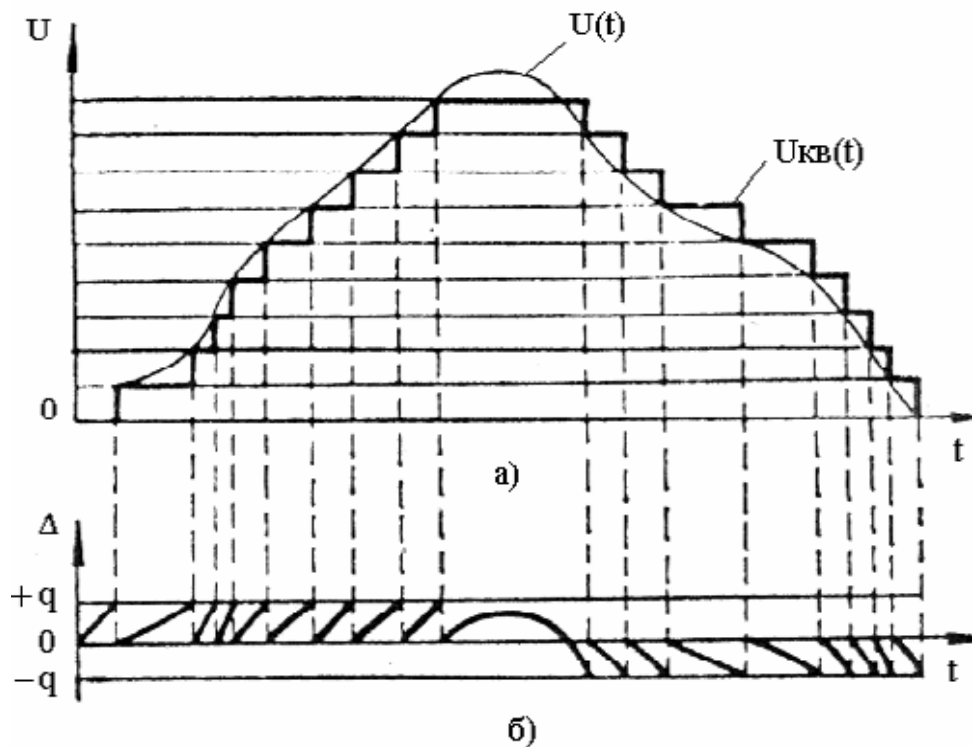
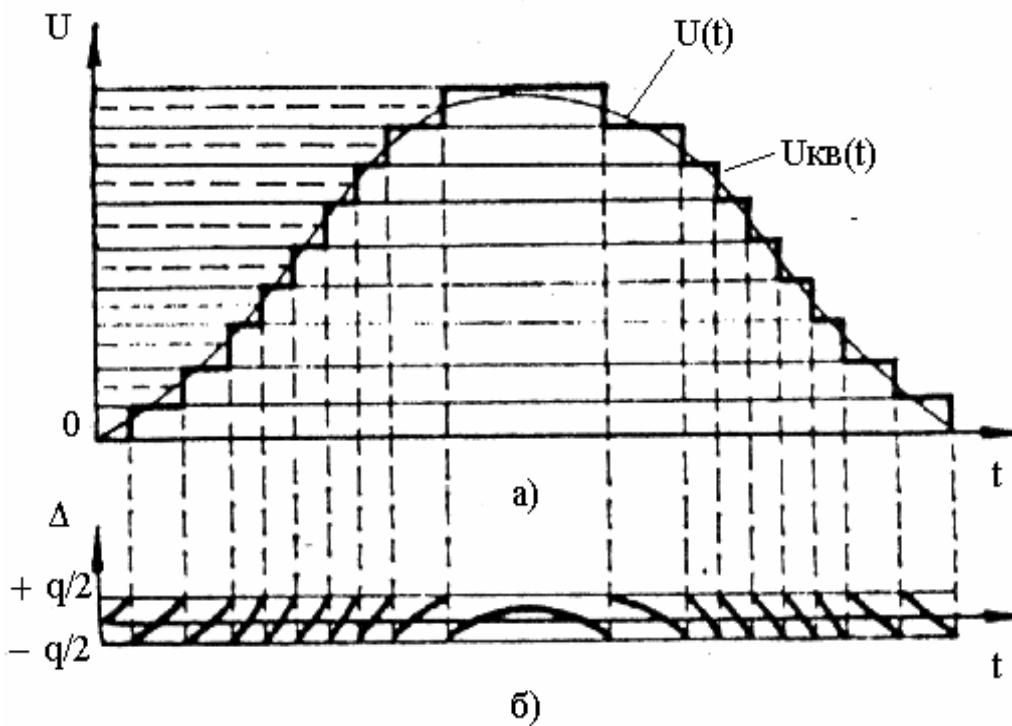


Рис.1 – Процесс квантования по уровню в АЦП следящего типа (а), и погрешность квантования (б)



а) процесс квантования; б) погрешность квантования.

Рис. 2 – Процесс квантования по уровню в АЦП циклического действия:

Из рассмотрения процессов квантования (рис. 1 и 2) заключаем, что частотный спектр шума квантования значительно шире спектра исходного ударного импульса и, следовательно, если на входе диагностической системы сигнал ограничить какой-то верхней частотой  $F_{max}$ , то после АЦП появятся составляющие значительное более высокой частоты, чем  $F_{max}$ . Поэтому известное предписание обязательной фильтрации в случае ЭД ДССПА не имеет смысла.

Погрешность квантования носит случайный характер с равномерным распределением плотности вероятности. Прямоугольное распределение погрешности квантования для синхронизированного АЦП с предельной погрешностью  $\Delta_{np} = \Delta_{кв}/2$ . При этом дисперсия  $D$  и среднее квадратическое отклонение погрешности квантования  $\sigma_{кв}$  запишется в следующем виде:

$$D(\Delta) = \int_{-\Delta_{кв}/2}^{\Delta_{кв}/2} \Delta^2 P(\Delta) d\Delta = \Delta_{кв}^2 / 12, \quad (3)$$

так как  $P(\Delta)$  – равномерная плотность вероятности, то

$$\sigma_{кв} = \sqrt{D(\Delta)} = \Delta_{кв} / (2\sqrt{3}). \quad (4)$$

При несинхронном АЦП закон распределения погрешности квантования представляет собой композицию двух прямоугольных законов распределения для начала и конца преобразуемого сигнала шириной (предельными погрешностями)  $-\Delta_{кв}/2$   $+\Delta_{кв}/2$  и высотой (вероятностью)  $1/ P_1(\Delta)$ . Плотность вероятности определяем из выражения:

$$P = \int_{-a\Delta_{кв}}^{+a\Delta_{кв}} P(\Delta) P_2(\Delta) d\Delta, \quad (5)$$

где  $P_1(\Delta)$ ,  $P_2(\Delta)$  – плотность вероятности прямоугольных законов распределения погрешности квантования (они постоянны и равны  $1/\Delta_{кв}$ ); пределы  $-\Delta_{кв}/2$   $+\Delta_{кв}/2$  – ширина перекрываемого участка, изменяющегося от максимума, когда прямоугольники совпадают ( $a=0,5$ ), до нуля, когда центральные линии прямоугольников раздвинуты на величину  $\Delta_{кв}$ . При этом получается треугольный закон распределения погрешности квантования с параметрами  $\Delta_{np} = \pm\Delta_{кв}$ ,  $\sigma = \Delta_{кв} / \sqrt{6}$ .

Из проведенного анализа очевидно преимущество АЦП циклического действия (методов интегрирования), имеющего меньшую погрешность. Рассмотрим его погрешность, вызванную квантованием, методом интегрирования более подробно и оценим правильность сделанных выводов.

Математическое ожидание квантования методом интегрирования равно:

$$m_{кв} = \int_{-a\Delta_{кв}}^{+a\Delta_{кв}} \varepsilon_{кв} \omega(\varepsilon_{кв}) d\varepsilon_{кв} = 0, \quad (6)$$

дисперсия:

$$\sigma_{кв}^2 = \int_{-a\Delta_{кв}}^{+a\Delta_{кв}} \varepsilon_{кв}^2 \omega(\varepsilon_{кв}) d\varepsilon_{кв} = \frac{\Delta_{кв}^2}{12} = \frac{\Lambda^2}{12(L_{кв} - 1)^2} \approx \frac{\Lambda^2}{12L_{кв}^2}. \quad (7)$$

Приведенная к дисперсии ударного импульса  $\sigma_{\lambda}^2 \approx \Lambda/36$  дисперсия погрешности квантования

$$\sigma_{кв}^2 = \sigma_{кв}^2 / \sigma_{\lambda}^2 = \frac{36\Lambda^2}{12L_{кв}^2\Lambda^2} = 3/12L_{кв}^2 = 3/2^{2N}. \quad (8)$$

По полученной зависимости (8) построим таблицу зависимости погрешности квантования от разрядности АЦП.

Таблица 1 – Расчетные погрешности квантования ударных импульсов взаимодействия при движении подъемных сосудов от разрядности АЦП аппаратуры экспресс-диагностики динамического состояния системы “подъемный сосуд-жесткая армировка”

Разрядность АЦП	6	8	10	12
$\sigma, \%$	2,7	0,7	0,02	0,0004

Из табл. 1 видно, что погрешность квантования при разрядности АЦП аппаратуры экспресс-диагностики динамического состояния системы “подъемный сосуд-жесткая армировка” больше десяти не оказывает существенного влияния на точностные характеристики измерения параметров колебаний подъемного сосуда.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов: Пер с. с англ. / Под ред. Ю.Н. Александрова. - М.: Мир, 1978. – 458 с.