

УДК 622.271

**В.В. Демьянов, М.В. Маслов**

**КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ  
ДАТЧИКОВ В СИСТЕМАХ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО  
КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ГОРНЫХ МАССИВОВ**

Семинар № 2

---

**П**ри ведении работ на горных предприятиях происходит нарушение состояния горных массивов, связанные с влиянием различных горно-геологических и горнотехнических факторов. Для управления состоянием массива горных пород, уступов бортов и отвалов карьеров необходима оперативная информация, получить которую можно, используя современные компьютерные методы и средства сбора и обработки геомеханического и геоэлектрического мониторинга. В настоящее время отсутствуют действующие комплексные автоматизированные системы контроля состояния горных массивов и устойчивости бортов карьеров, однако современный технический уровень позволяет их реализовать в ближайшее время.

При создании системы геоконтроля был учтен весь комплекс накопленных в этом направлении технических решений. В комплексную систему геомониторинга входят модернизированные и усовершенствованные на базе интегральной схемотехники датчики геомеханических и геофизических параметров массива горных пород с микропроцессорными системами предварительной обработки, запоминания и подготовки к передаче данных, полученных с первичных преобразователей измеряемых параметров (датчиков) [1, 2].

Система геофизического контроля состояния горных массивов характеризуется такими показателями, как чувствительность, надежность, долговечность, достоверность воспроизведения контролируемой величины, стоимость, габариты и т. д. В идеальную модель обобщенной оценки эффективности должны входить все известные показатели системы. На практике такую модель реализовать трудно, т. к. все показатели должны быть приведены к единым размерностям, что является достаточно сложной задачей. Поэтому следует выбрать наиболее важные показатели. Такими показателями, например, могут являться достоверность воспроизведения контролируемой величины (сигнала с датчиков геомеханического или геофизического контроля) и надежность функционирования системы.

В качестве показателя достоверности принимается среднеквадратичная ошибка измерения контролируемого параметра  $\sigma_{\varepsilon}^2$ , показателя надежности – интенсивность отказов  $\lambda$ . Контролируемая величина имеет среднеквадратичное значение  $\sigma_x^2$ . Динамическая характеристика определяется полосой пропускания устройства  $F$ . Тогда количество информации, которое можно получить на выходе системы контроля в непрерывном режиме при ее безотказной работе за время

$T, J = F T \log \frac{\sigma_x^2 + \sigma_\varepsilon^2}{\sigma_\varepsilon^2}$ . Как правило, на практике  $\sigma_x^2 \gg \sigma_\varepsilon^2$ , тогда приближенное выражение для количества информации примет вид

$$J = 2 F T \log \frac{\sigma_x}{\sigma_\varepsilon}. \quad (1)$$

При определении количества информации на выходе устройства при наличии отказов за время  $T$  необходимо учитывать вероятности безотказной работы  $P = e^{-\lambda T}$  и отказа за это время  $q = 1 - e^{-\lambda T}$ . Среднее количество информации, полученное за время  $T$ , меньше  $J$ , поскольку устройство из-за наличия отказов в среднем будет работать меньшее время. Среднее время безотказной работы устройства в интервале времени  $(0, \infty)$

$$T_0 = \int_0^\infty e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}. \quad (2)$$

В интервале времени  $(0, T)$  среднее время безотказной работы устройства и соответственно среднее количество выдаваемой им информации:

$$T_1 = \int_0^T e^{-\lambda t} dt = T_0(1 - P); \quad (3)$$

$$J_1 = 2 F T_1 \log \frac{\sigma_x}{\sigma_\varepsilon} = 2 T_0 F(1 - P) \log \frac{\sigma_x}{\sigma_\varepsilon}. \quad (4)$$

Количество информации на выходе устройства зависит от его точности, надежности и полосы пропускания, поэтому оно может служить комплексным критерием технического уровня. Вследствие ненадежности за время  $T$  имеет место средняя потеря информации

$$\Delta J = J - J_1 = 2 F [T - T_0(1 - P)] \log \frac{\sigma_x}{\sigma_\varepsilon} \quad (5)$$

Применяя теорию информации [3, 4], определим эквивалентную средне-

квадратичную ошибку ненадежного устройства. Пусть  $\sigma_\vartheta$  – эквивалентная среднеквадратичная ошибка. Тогда при надежной работе устройство с эквивалентной ошибкой за время  $T$  обеспечит получение количества информации

$$J_2 = 2 F T \log \frac{\sigma_x}{\sigma_\vartheta}. \quad (6)$$

Значение  $\sigma_\vartheta^2$  определится из условия, что потеря информации на выходе устройства с эквивалентной ошибкой при его надежной работе равна потере информации рассматриваемым устройством с учетом его ненадежности, т. е.

$$\Delta J_2 = 2 F T \log \frac{\sigma_\vartheta}{\sigma_\varepsilon}. \quad (7)$$

Приравняв выражения (5) и (7) и проведя преобразования, получаем

$$\sigma_\vartheta = \left( \frac{\sigma_x}{\sigma_\varepsilon} \right)^{1 - (T_0/T)(1 - P)}. \quad (8)$$

При времени работы системы геофизического контроля, равном среднему времени безотказной работы  $T_0$ , учтя, что  $P = e^{-\lambda T_0} = e^{-1}$ , полу-

чим  $\sigma_\vartheta = \sigma_\varepsilon \left( \frac{\sigma_x}{\sigma_\varepsilon} \right)^{1/e}$ . При таком вре-

мени очень велика вероятность отказа устройства. Наибольший интерес представляет случай, когда вероятность отказа достаточно мала. Для малой вероятности отказа необходимо, чтобы  $\lambda T \ll 1$  и  $T \ll T_0$ . В этом случае

$$P = e^{-\lambda T} = e^{-T/T_0} \approx 1 - \frac{T}{T_0} + \frac{T^2}{2T_0^2}. \quad (9)$$

Подставив это выражение в (8), получим

$$\sigma_\vartheta = \sigma_x^{\lambda T/2} \sigma_\varepsilon^{1 - \lambda T/2}. \quad (10)$$

Так как  $\lambda = 0$ ,  $\sigma_\vartheta = \sigma_x$ , то для абсолютно надежного устройства введенная эквивалентная ошибка должна совпадать с  $\sigma_\varepsilon$ .

Выражение (10) для эквивалентной ошибки получено в предположении, что измеряемая величина, а также ошибка ее измерения имеют гауссовское распределение. Однако на практике измерительные преобразователи, как правило, характеризуются диапазоном измеряемых величин и предельной ошибкой измерения или, в частности, относительной ошибкой. В этом случае также могут быть получены на основе теории информации аналогичные критерии. При надежной работе системы геофизического контроля количество информации, получаемое за время  $T$ ,

$$J = 2 F T \log \frac{D}{\delta}, \quad (11)$$

где  $D$  – диапазон изменения измеряемой величины,  $\delta$  – предельная ошибка измерения.

Для рассматриваемого случая среднее время безотказной работы на интервале времени от 0 до  $T$  также определяется по формуле (3), поэтому средние потери информации, обусловленные ненадежностью,

$$\Delta J_1 = 2 F [T - T_0(1 - P)] \log \frac{D}{\delta}. \quad (12)$$

Обозначив эквивалентную ошибку устройства  $\delta_3$ , покажем, что информация на его выходе с эквивалентной ошибкой и потеря информации равны:

$$J_2 = 2 F T \log \frac{D}{\delta_3}; \quad (13)$$

$$= \Delta J_2 = 2 F T \log \frac{\delta_3}{\delta}. \quad (14)$$

Приравнявая (12) и (14), получим формулу для определения эквивалентной ошибки

$$\delta_3 = \delta \left( \frac{D}{\delta} \right)^{1 - (T_0/T)(1-P)}.$$

При  $\lambda T \ll 1$  после преобразований выражение для  $\delta_3$  примет вид

$$\delta_3 = D^{\lambda T/2} \delta^{1 - \lambda T/2}. \quad (15)$$

Таким образом, теория информации позволяет увязать такие важные показатели технического уровня системы геофизического контроля, как надежность и достоверность (точность) воспроизведения контролируемой величины, тем самым получить комплексный критерий качества контроля состояния горного массива, каким является введенная эквивалентная ошибка контроля.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демьянов В.В. Система автоматизированного геоконтроля и прогноза физических процессов в техногенных массивах карьеров / В.В. Демьянов, С.М. Простов, С.В. Сидельцев, Р.Ю. Сорокин // ГИАБ. – 2004. – № 10. – С. 156-158.

2. Демьянов В.В. Устройства первичной обработки информации геофизических датчиков / В.В. Демьянов, С.М. Простов, Р.Ю.

Сорокин // ГИАБ. – 2006. – № 1. – С. 162-164.

3. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1989. – 656 с.

4. Новоселов О.Н. Основы теории и расчета информационно-измерительных систем. – М.: Машиностроение, 1980. – 520 с. **ГИАБ**

## Коротко об авторах

Демьянов В.В. – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электропривода и автоматизации,

Маслов М.В. – ведущий инженер кафедры маркшейдерского дела и геодезии, Кузбасский государственный технический университет

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 2 симпозиума «Неделя горняка-2008». Рецензент д-р техн. наук, проф. В.Л. Шкурятник.