УДК: 622.692.4.058

Р.М.ПРОСКУРЯКОВ, В.И.МАЛАРЕВ, Н.В.КНЫШОВ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (*технический университет*)

МЕТОД КОНТРОЛЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ТРУБОПРОВОДНЫХ ГИДРОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Разработана методика контроля целостности трубопроводных гидротранспортных систем и определения места повреждения на основе анализа спектра акустического сигнала в трубопроводе.

The control technique of pipeline hydrotransport systems integrity and definitions of place is developed on the basis of a acoustic signal spectrum analysis in the pipeline.

Системы гидротранспорта минерального сырья из-за различных физико-технических характеристик транспортируемой среды имеют свои принципиальные особенности, которые необходимо учитывать при создании систем автоматического контроля целостности трубопроводов.

Поскольку транспортируемая среда практически несжимаема, это позволяет при построении автоматической системы контроля использовать упругие свойства среды как хорошие предпосылки к построению канала связи для передачи тестовых сигналов, для получения и извлечения информативного сигнала, а также для расширения возможностей увеличения протяженности маршрута с достоверной диагностикой.

Очевидно из практики, что перспективными результатами, которые можно использовать при создании современной системы автоматического контроля, являются магнитные и токовихревые методы, которые привлекательны тем, что не имеют малых ограничений по диаметру и протяженности трубопроводов. Однако, эти положительные свойства методов, в частности, по протяженности контролируемого маршрута, сводятся к минимуму из-за электромагнитных полей, искажающих информацию в канале связи. В данном случае помехами являются электромагнитные, от систем электросвязи, от систем защиты от электрохимической коррозии и, наконец, блуждающие токи.

С целью устранения указанных недостатков предлагается принять за полезный информативный параметр целостности трубопровода изменение формы прямоугольного тестового импульса давления. Прямоугольный импульс давления есть по сути широкополосный случайный сигнал. В месте повреждения трубопровода спектр этого сигнала изменяется. После обработки на спектроанализаторе выявляют его информативный параметр (статистические характеристики). Методами цифровой обработки сигнала* параметр преобразуется в *n*-элементный цифровой код и далее по сотовой сети мобильной связи или системе GPS-спутник сигнал вводится в систему оперативного диспетчерского или систему автоматического контроля трубопровода (рис.1).

Такой способ организации информативного канала и двухступенчатое формирование индикатрисы (давление – электрический потенциал – цифровой код) позволяет надежно отстраниться от упомянутых электромагнитных помех. Недостатком данного подхода является то обстоятельство, что из-за низкого порога чувствительности преобразователя давления невозможно организовать контроль протяженных маршрутов.

---

* *Гольденберг Л.М.* Цифровая обработка сигналов: Справочник / Л.М.Гольденберг, Б.Д.Матюшкин, М.Н.Поляк. М.: Радио и связь, 1985. 312 с.

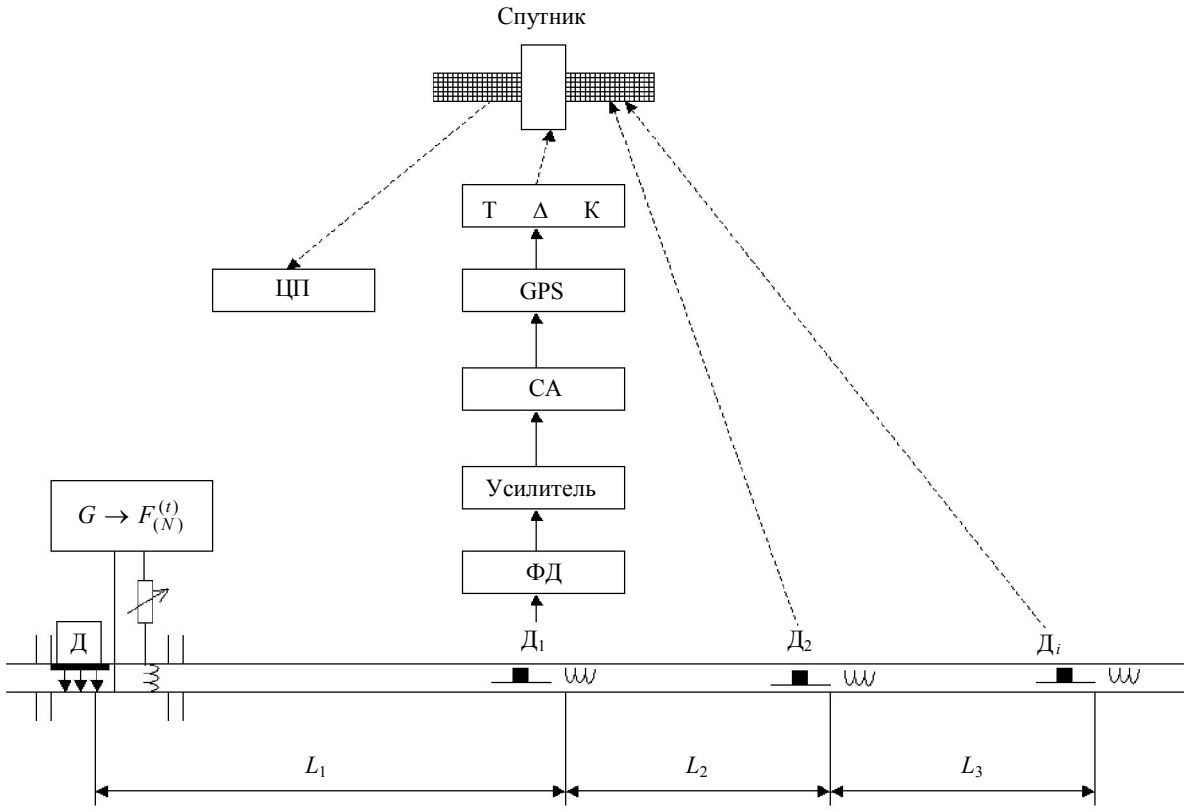


Рис.1. Автоматическая система контроля технико-технологических параметров трубопроводной сети

СА – анализатор детектора отклонений; ТΔК – трехсигментный код (участок трубы, отклонение технологического параметра, категория отклонения); ФД – фазовый детектор; ЦП – центральный пульт

Учитывая технологические особенности горного гидротранспорта, предлагается следующий способ контроля повреждений трубопроводов. Каналами связи и средой формирования информативного сигнала является собственно сам транспортируемый поток. Как известно, гидросмесь перемещается по трубам с помощью мощных насосов. Насосы создают давление в потоке, изменяющимся во времени как случайный стационарный процесс. Из классической теории статистических измерений известно, что математическое ожидание для стационарного сигнала постоянно, а корреляционная функция зависит лишь от разности аргументов.

Метод привлекателен еще и тем, что измеряемая величина не зависит от абсолютного значения давления в трубопроводе, поскольку измерение организуется по следующему алгоритму: в начале заданного периода (час, минута и т.д.) все параметры случайной функции автоматически заносятся в память контроллера (в составе сотовой мобильной сети) как эталонные. С определенной частотой дискретизации измеренные значения сравниваются с эталоном, в случае отклонения результатов сравнения от заданных система автоматического контроля передает эти отклонения в виде многоэлементного кода либо центральному диспетчеру, либо в глобальную систему управления трубопроводом.

Преобразование трубопроводной системой сканирующего импульсного сигнала характеризуется весовой функцией $K(m,n)$. Сигнал на выходе системы $x(n)$ связан с сигналом на входе $g(n)$ при нулевых начальных условиях соотношением

$$\tilde{O}(n) = \sum_{l=0}^{n-1} K(n,l)g(l). \qquad (1)$$

Отсюда следует, что если в трубопроводной системе с весовой функцией $K(n,l)$

навести случайный дискретный сигнал $G(n)$ с математическим ожиданием $M[G(n)] = m_G(n)$ и корреляционной функцией $K(G,K)$, то случайный сигнал на выходе системы можно вычислить с помощью равенства

$$X(n) = \sum_{l=0}^{n-1} K_G(n,l)G(l). \quad (2)$$

Определим математическое ожидание выходного сигнала:

$$m_x(n) = M[X(n)] =$$

$$= \sum_{l=0}^{n-1} K(n,l)M[G(l)] = \sum_{l=0}^{n-1} K(n,l)m_G(l). \quad (3)$$

Вычитая выражение (2) из выражения (1), можно записать

$$\dot{X}[n] = \sum K(n,l)\dot{G}(l). \quad (4)$$

Вычислим корреляционную функцию $X(n)$ на выходе

$$K(n,r) = M[\dot{X}(n)X(r) =$$

$$= M\left[\sum_{i=i_0}^{n-1} K(n,l)K(r,i)\dot{G}(l)\dot{G}(r)\right] =$$

$$= \sum_{i=i_0}^{n-1}\sum_{i=l_0}^{r-1} K(n,l)K(r,i)K_G(l,i).$$

Дисперсию сигнала, обусловленную отклонением технологических параметров трубопроводной сети от номинальных значений, можно вычислить из соотношений

$$D_x(n) = K_x(n,r)\sum\sum K(n,l)K(n,i)K_G(l,i). \quad (5)$$

Взаимная корреляционная функция на входе и выходе системы имеет вид

$$K_{XG}(n,r) = M[\dot{X}(n)\dot{G}(r)] =$$

$$= M\left[\left(\sum K(n,l)\dot{G}(r)\right)\dot{G}(r)\right] =$$

$$= \sum K(n,l)K_G(lr); \quad (6)$$

$$K_{GX}(n,r) = M[G(n)X(r)] =$$

$$= \sum_{l=l_0}^{r-1} K(r,l)K_G(n,l). \quad (7)$$

Для диагностики технического состояния проще и надежнее использовать стационарный технологический сигнал, например, работу пульпового насоса или специальный генератор случайного сигнала давления. Поскольку трубопроводная система стационарна, то ее весовая функция зависит от аргументов, т.е. $K(n,l) = K(n-l)$. Для стационарного сигнала математическое ожидание постоянно, а корреляционная функция зависит лишь от разности аргументов. Поэтому в этом случае выражения (2), (4)-(7) принимают вид

$$m_n(n) = \sum_{l=l_0}^{n} K(n-l)m_G = m_G \sum_{r=1}^{n=l_0} K(r). \quad (8)$$

Пульповод имеет мощные насосные агрегаты, обеспечивающие транспортирование пульпы по трубопроводу. Эти агрегаты являются источником мощного стационарного сигнала – этим сигналом и каналом носителя информации для нашей системы является давление. Таким образом,

$$K_{\tilde{O}}(n,r) = \sum_{l=l_0}^{n=1_0}\sum_{i=l_0}^{r=1} K(n-l)K(r-i)K_G(l-i) =$$

$$= \sum_{\mu=1}^{n-l_0}\sum_{\gamma=1}^{r-l_0} K(\mu)K(\nu)K_G(n-r-\mu+\gamma); \quad (9)$$

$$D_x(n) = K_X(n,r) =$$

$$= \sum_{\mu=1}^{n-l_0}\sum_{\gamma=1}^{n-r_0} K(\mu)K(\gamma)K_G(\gamma-\mu); \quad (10)$$

$$K_{XG}(n,r) = \sum_{l=l_0}^{n-1} K(n-l)K_G(l-r) =$$

$$= \sum_{\gamma=1}^{n-l_0} K(\gamma)K_G(n-r-\gamma); \quad (11)$$

$$K_{GX}(n,r) = \sum_{l=l_0}^{r-1} K(r-l)K_G(n-l) =$$

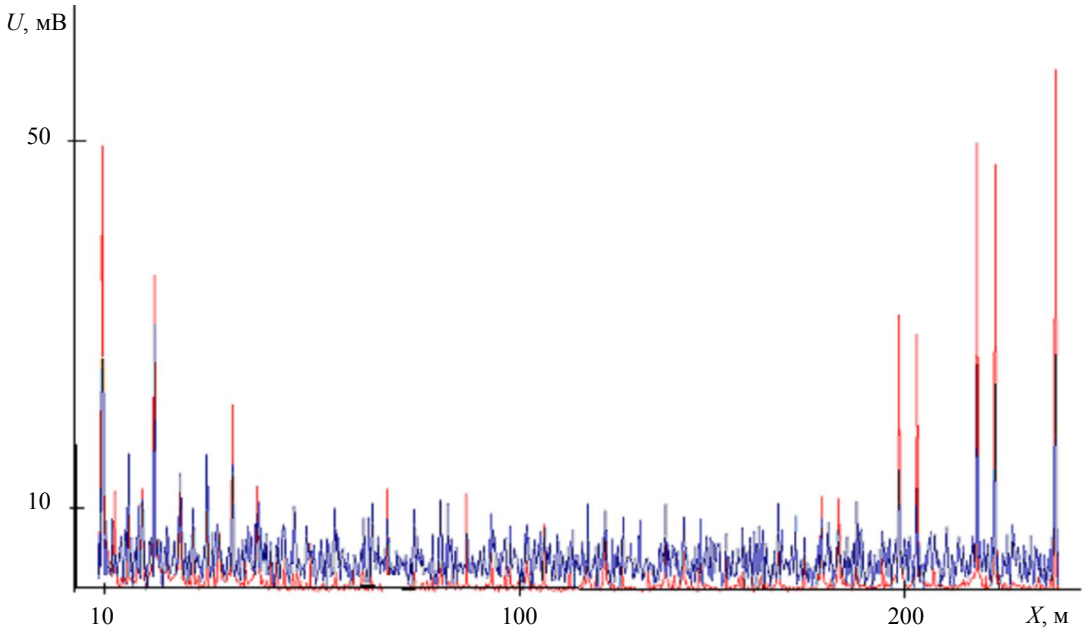


Рис.2 Функция корреляции в случае обнаружения утечек на расстоянии 10 и 200 м от датчика

$$= \sum_{\gamma=1}^{n-l_0} K(\gamma) K_G(n-r+\gamma). \qquad (12)$$

Поскольку система находится в установившемся режиме, так как $n \to \infty$ и $r \to \infty$, из соотношений (8)-(11) получаем

$$m_X(n) = m_G \sum_{r=1}^{\infty} K(r) = m_X = \text{const}; \qquad (13)$$

$$K_X(n,r) = \sum_{\mu=1}^{\infty} \sum_{\lambda=1}^{\infty} K(\mu) K(\gamma) K_G(n-r-\mu+\gamma) =$$

$$= K_X(n-r); \qquad (14)$$

$$D_X(n) = K_X(n,r) \sum \sum K(\mu) K(\gamma) K_G(\gamma-\mu) =$$

$$= D_X = \text{const}; \qquad (15)$$

$$K_{XG}(n,r) = \sum_{\gamma=1}^{\infty} K(\gamma) K_G(n-r-\gamma) =$$

$$= K_{XG}(n-r); \qquad (16)$$

$$K_{GX}(n,r) = \sum_{\gamma=1}^{\infty} K(\gamma) K_G(n-r+\gamma) =$$

$$= K_{GX}(n-r). \qquad (17)$$

Из равенств (12)-(17) следует, что если на вход линейной системы подать стационарный тестовый сигнал, то на выходе системы также будет стационарный случайный сигнал.

Маршрутные контроллеры (рис.1), определяющие величины (12)-(17) тестовых сканирующих сигналов системы, не покажут отклонения от величин, полученных в процессе тестирования. Если же в трубопроводной системе будут какие либо повреждения (рис.2), величины (12)-(17) отклоняются от эталонных констант и в этом случае включается система оповещения и диагностики.