

УДК 621.384.2

**Р.М.ПРОСКУРЯКОВ, д-р техн. наук, профессор, Prm-app@bk.ru**

**А.В.КОПТЕВА, аспирант, Aleksa.k@bk.ru**

**И.Н.ВОЙТЮК, аспирант, voytuk irina@mail.ru**

*Санкт-Петербургский государственный горный университет*

**R.M.PROSKURYAKOV, Dr. in eng. sc., professor, Prm-app@bk.ru**

**A.V.KOPTEVA, post-graduate student, Aleksa.k@bk.ru**

**I.N.VOYTYUK, post-graduate student, voytuk irina@mail.ru**

*Saint Petersburg State Mining University*

## **АВТОМАТИЧЕСКАЯ КОРРЕКТИРОВКА МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЕЙ СЛУЧАЙНЫХ СИГНАЛОВ ПЕРВИЧНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ АНАЛИЗАТОРА ЖИДКОСТНЫХ ПОТОКОВ**

Предложен новый способ статистических пульсационных измерений с помощью первичного преобразователя анализатора жидкостных потоков, позволяющий повысить точность измерений отдельных его компонентов и являющийся альтернативой существующим методам контроля многокомпонентных потоков. Описаны структура и принцип измерения.

**Ключевые слова:** объемная масса, автоматическая компенсация, следящая система, динамический диапазон.

## **AUTOMATIC ADJUSTMENT OF METROLOGY PERFORMANCE METER RANDOM SIGNAL TRANSDUCER ANALYZER LIQUID FLOWS**

New way of statistical pulsation measurements by radioisotope technique is described, being alternative to the existing stream control methods and allowing to improve accuracy of measurements. The basic formula fundamental for the method of calibration characteristics correction is shown.

**Key words:** multiphase, multicomponent, stationary, non-stationary, the converter, metrological, radio isotope, a component, non-contact, flow.

В отраслях народного хозяйства, где в технологиях используются большие массы сырья или продукции, мы имеем дело с большими, разнесенными в пространстве, сложной топологии и географии поточными транспортными системами. Потоки в общем случае можно разделить на два вида: гомогенные (однородные или ньютоновские) и многофазные многокомпонентные. Общей и важнейшей характеристикой последних является их неоднородность (многокомпонентность).

В горной отрасли все потоки (сыпучие, жидкые, газообразные) являются многокомпонентными. Это потоки сыпучих материалов на конвейерных системах, грузоперегружающих пунктах подземных и открытых горных работ, пульпопроводы в системах гидротранспорта, потоки на горно-обогатительных и горно-химических предприятиях и т.п., а также в процессе добычи и переработки углеводородного (энергетического) сырья (нефти и газа).

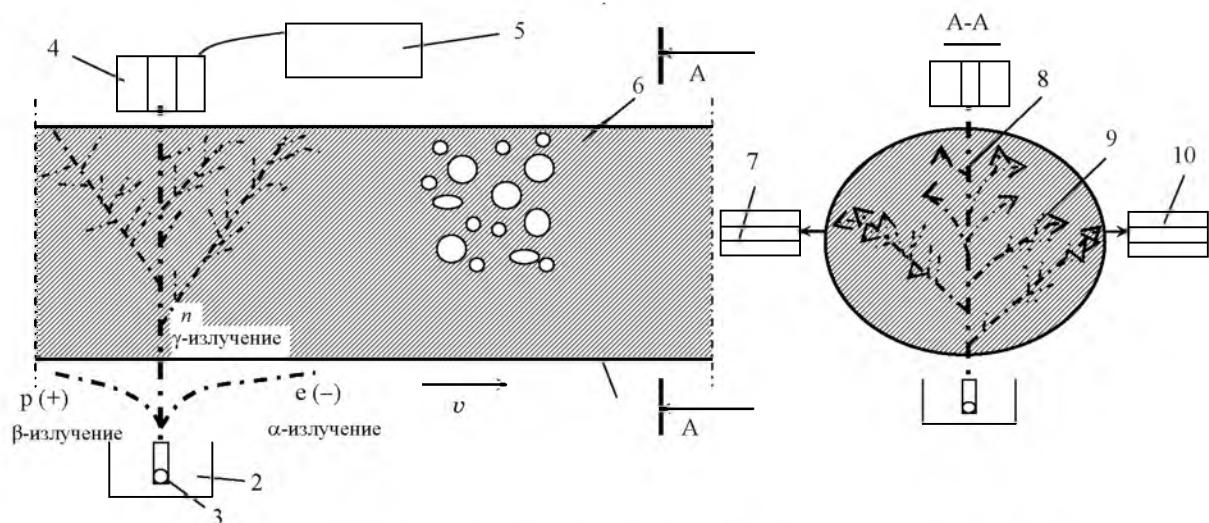


Рис.1. Структура бесконтактного измерения параметров отдельных компонентов жидких многофазных многокомпонентных потоков

В метрологии потоков для горной отрасли действуют несколько десятков ГОСТов, предписывающих измерять отдельные компоненты потоков в процессе добычи и переработки полезного ископаемого. Для нефти, например, необходимо измерять и регистрировать в реальном времени (под опломбированный фиксированный учет) расход и количество газа, воды и нефти, добываемой из каждой скважины, измерять микроконцентрацию свободного газа и воды в магистральном нефтепроводе. Такие меры призваны предотвратить хищническое расходование национальных запасов нефти, поскольку крупные владельцы предпочитают эксплуатировать только скважины с суточным дебитом нефти более 100-150 т/сут; затем эта скважина выводится из эксплуатации как неперспективная, хотя из запасов ее коллектора взяли не более 10-15 % [2].

В России уже накоплен фонд «неперспективных» скважин около 30 тысяч, хотя усредненная выработка достигает в них около 15-20 %. Для сравнения в США выработка составляет 45-60 %, да и глубина переработки нефти больше, чем в России, примерно в 2 раза.

Проблема разработки измерительных систем для многокомпонентных потоков в России не решена, даже принципиально. Измерение в нефтепроводах возможно только бесконтактным способом и очень малых

количество компонента (например, для свободного газа, динамический диапазон составляет 0-2 % по объему. Таков же порядок диапазона для свободной воды в потоке). Критерии выбора метода контроля многокомпонентного потока в трубопроводе (нефти в трубопроводе) следующие: бессепарационность, бесконтактность, надежность, диапазон изменения плотности контролируемой среды 100-1100 кг/м<sup>3</sup>, диапазон изменения содержания свободного газа 5-75 % (большие значения – для скважин нефтепромыслов), диапазон изменения содержания воды 0-100 %.

Требования к приборам для нефтепроводов выполнены в полном объеме: жесткое электромагнитное излучение, формирующее информационное поле в поперечном сечении трубопровода, получают с помощью блока гамма-излучения БГИ-60А, испускающего  $6 \cdot 10^9$   $\gamma$ -квантов в секунду за счет распада изотопа Cs<sub>137</sub>; прямое и рассеянное излучение регистрируется несколькими блоками детектирования (рис.1) [3].

На основе высоконадежного, простого и долговечного радиоизотопного измерителя плотности создан статистический пульсационный метод измерения отдельных компонент потока. При движении потока, например нефти по трубе, отдельные компоненты регистрируются первичным преобразователем (по измерению плотности потока), предварительно отградуированном на

газосодержание, за счет «просвечивания» его жестким электромагнитным излучением (в данном случае это  $\gamma$ -излучение изотопа химического элемента Cs<sub>137</sub>).

Прибор, предварительно отградуированный на метрологическом стенде в статическом режиме на газосодержание, необходимо переключать в момент прохода пузырьков (на градуировочную «газовую» характеристику, иначе показания прибора будут увеличены на величину объемного газосодержания включений). В рассматриваемом случае это переключение по команде соответствующей пульсации осуществляется однокристальная ЭВМ вторичного прибора. Градуировочные коэффициенты через определенный период эксплуатации корректируются, корректируется ноль и чувствительность градуировочной характеристики путем перекрывания полностью или частично потока  $\gamma$ -излучения. После обработки огромного количества статистического материала определяют аналитическое выражение для сигнала с первичного преобразователя – случайного процесса, вызванного прохождением под первичным преобразователем, например, скопления пузырьков свободного газа. Процесс обычно характеризуется корреляционной функцией или плотностью распределения вероятности или в виде полиномиальной функцией преобразования.

Нами найден способ автоматической корректировки градуировочной характеристики прибора в сторону увеличения точности измерений, т.е. самокорректирующаяся проходная характеристика измерительной системы. Суть алгоритма состоит в следующем: в статическом режиме градуируется система по основному потоку (нефть, уголь, газ и т.п.); по теореме Котельникова находится  $\Delta t_i$  – интервал времени между измерениями, необходимый для точного воспроизведения характеристики (случайного сигнала) измеряемого параметра. Для конвейерных весов  $\Delta t_i = 0,02$  с; для магистрального нефтепровода  $\Delta t_i = 0,2$  с. По методу скользящего среднего, при каждом измерении контроллер вторичного прибора вычисляет значение функции (см. рис.2) от измеряемого параметра по формуле

$$y(t) = \frac{1}{2l} \int_{t-l}^{t+l} x(t) dt, \quad (1)$$

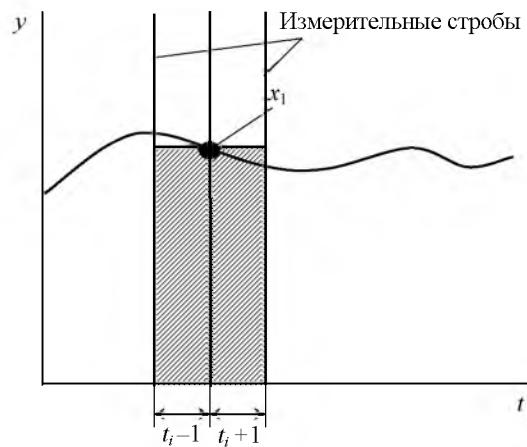


Рис.2. Определение мгновенного значения амплитуды случайного сигнала для корректировки градуировочной характеристики

где  $y(t)$  – значение измеряемого параметра;  $t$  – время, с;  $l$  – интервал времени между измерениями, с.

Значение измеренного параметра  $y(t_i)$  из памяти прибора (базовая градуировочная характеристика) и вычисленное уточняется путем усреднения и заносится в память прибора как новая (уточненная) точка градуировочной характеристики. И так в течение всего периода работы прибора: новая характеристика усредняется с предварительно многократно усредненной (и теперь уже являющейся базовой) градуировочной характеристикой (так называемый метод Монте-Карло) [1]. Рис.3 поясняет процесс усреднения градуировочной характеристики.

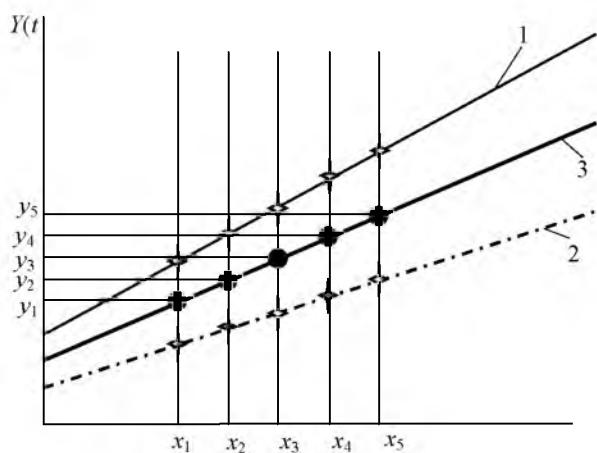


Рис.3. Уточнение градуировочной характеристики  
1 и 2 – градуировочная характеристика, соответственно занесенная в процессор вторичного прибора и вычисленная методом скользящего среднего; 3 – уточненная градуировочная характеристика, полученная методом «Монте-Карло»

Таким образом, в статистических измерениях с помощью радиоизотопного  $\gamma$ -метода осуществляется необходимая много-кратность измерений искомой величины (0,2 с или 0,02 с), уточнение градуировочной характеристики по любому информативному параметру потока, который можно выделить, регистрируя изменение плотности потока коррелирующей с измеряемой величиной. Если эта величина соответствует незначительным включениям какого-то компонента в общем потоке, контроллер прибора по статическим характеристикам переключит градуировочную характеристику на соответствующий компонент потока.

Подводя итог можно сделать вывод, что существующий и активно применяемый развивающийся «статистический пульсационный» метод измерения усовершенствован за счет того, что случайные составляющие сигнала первичного преобразователя, вызванные малыми включениями примесей, которые раньше считались помехой, в нашем случае служат метрологическим инструментом для повышения точности прибора. Прибор измеряет с дискретностью 200 измерений в секунду и при каждом измерении градуировочная характеристика корректируется. Для этих целей во всем динамическом диапазоне измерений нами применен математический аппарат обработки результатов измерений – метод скользящего среднего и метод Монте-Карло, только применительно не к числам, а к функциям. Для этого функции мы разбиваем на интервалы с дискретностью 200

раз в секунду (это принцип работы  $\gamma$ -измерителя). Случайная величина в такого рода первичном преобразователе играет роль метрологического инструмента, а именно осуществляет переключение измерительного прибора в нужный режим, а также постоянную автоматическую корректировку градуировочной характеристики во всем динамическом диапазоне.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аверина Т.А. Анализ точности методов Монте-Карло при решении краевых задач посредством вероятного представления / Т.А.Аверина, С.С.Артемьев // Сибирский журнал вычислительной математики. 2008. Т.11. № 3. 1984. С.239-250.

2. Газин Д.И. Проблема обнаружения свободного газа в товарной нефти и пути ее решения / Д.И.Газин, В.А.Кратиров // Микропроцессорные средства измерений: Сб. трудов Санкт-Петербургского политехнического ун-та. СПб, 2003. Вып.3. С.22-25.

3. Гусев Н.Г. Гамма-излучение радиоактивных изотопов и продуктов деления. Теория и таблицы. М., 1958. 233 с.

## REFERENCES

1. Averina T.A., Artemiev S.S. Analysis of the accuracy of Monte Carlo methods for solving boundary value problems by means of the probabilistic representation of// Siberian Journal of Computer Science. 2008. Vol. 11. N 3. P. 239-250.

2. Gazin D.I., Kratirov V.A. The problem of detecting free gas in the tank oil and ways to solve // Microprocessor instrument: Proceeding of the Saint-Petersburg State Polytechnic University. 2003. Iss. 3. P.48-54.

3. Gusev N.G. The gamma radiation from radioactive isotopes and fission products. Theory and tables. Moscow, 1958. 233 p.