

## ОСОБЕННОСТИ ГРАДУИРОВКИ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА КОМПОНЕНТОВ В МНОГОФАЗНЫХ ПОТОКАХ

Описывается один из способов градуирования радиоизотопных приборов для отдельного определения количества нефти, воды и газа в многофазных многокомпонентных потоках скважинной жидкости. Приведена методика градуирования прибора на статическом экспериментальном стенде, а также оценены возможные погрешности при данном способе градуирования.

A radioisotope instrument for separate oil, water and gas determination in multiphase multi-component borehole liquid flows calibration is described in the article. An instrument calibration methods on static experimental test bench is given. Possible errors for the calibration methods are assayed.

ГОСТ Р 8.615-2005 устанавливает общие метрологические и технические требования к измерениям количества сырой нефти и нефтяного газа, извлекаемых из недр на территории РФ, а также нормы погрешности измерений с учетом параметров сырой нефти и нефтяного газа. Одновременное покомпонентное измерение каждого из компонентов (вода, газ, нефть) в едином потоке позволяет осуществить радиоизотопный метод. Точное (до 5 %) пульсационное измерение каждого из компонентов на основе радиоизотопного сканирования потока предполагает создание первичного специализированного преобразователя расхода негетерогенных потоков для системы измерения, что требует проведения дополнительных теоретических исследований в лабораторных и производственных условиях.

В ходе совместных исследований СПГГИ и НПФ «Комплекс-ресурс» (Санкт-Петербург) разработан прибор, состоящий из источника гамма-излучения ( $\text{Cs}^{137}$ ), блока детектирования и горизонтального участка трубопровода, по которому протекает исследуемая газонефтеводная смесь. При этом источник излучения и блок детектирования расположены на вертикальном диаметре трубопровода. Прибор позволяет с

метре трубопровода. Прибор позволяет с помощью аппаратных и программных средств определить газосодержание  $\phi$  и обводненность  $W$  газонефтеводной смеси и рассчитать непосредственно содержание нефти в потоке.

Важнейшим этапом синтеза прибора является его градуировка, поскольку на показания прибора в разной степени оказывают влияние одновременно несколько случайно изменяющихся величин (вода, газ, нефть, твердые включения). Наша цель – сделать прибор, измеряющий количество либо газа, либо воды, либо нефти.

Теоретическая зависимость количества отсчетов прямого излучения  $N_{\text{пр}}$  от плотности среды выражается экспоненциальной зависимостью. Для рассеянного излучения  $N_{\text{рас}}$  эта зависимость намного сложнее, и ее было решено определить в результате эксперимента на трубопроводе диаметром 325 мм.

Экспериментальный образец был смонтирован на измерительном участке трубопровода. Участок установлен горизонтально и заглушен с обеих сторон фланцами, снабженными кранами для слива жидкости.

При градуировке в качестве имитатора контролируемой среды использовались контрольные жидкости различного химическо-

го состава и различной плотности в диапазоне от 0,780 до 1,090 г/см<sup>3</sup> (пластовая вода, нефть, водонефтяная эмульсия). Требуемое содержание свободного газа создавалось путем отливания из измерительного участка определенных объемов жидкости.

Выходной сигнал прибора – функция взаимосвязанных нелинейных параметров, поэтому градуировка такой системы представляет значительную трудность.

Нами была разработана следующая методика градуировки:

- при постоянном значении одного фактора ( $\varphi = \text{const}$ ) экспериментально снять характеристики  $N_{\text{пр}} = f(W)|_{\varphi = \text{const}}$  и  $N_{\text{рас}} = f(W)|_{\varphi = \text{const}}$ , таким образом получить массив кривых для различных фиксированных значений  $\varphi$ ;

- по набранной статистике построить семейство кривых  $N_{\text{рас}} = f(W)|_{\varphi = \text{const}}$  и аппроксимировать их квадратичной зависимостью типа  $N_{\text{рас}} = f(W)|_{\varphi = \text{const}} = aW^2 + bW + c$ ;

- так как интенсивность рассеянного излучения зависит от  $\varphi$  и  $W$ , т.е. постоянные коэффициенты этих функций являются общими для обеих зависимостей, то необходимо построить графики зависимостей коэффициентов  $a$ ,  $b$  и  $c$  от  $\varphi$  и аппроксимировать их квадратичной или линейной зависимостью;

- таким образом, объединяя выявленные зависимости, получим аналитическую зависимость отсчетов рассеянного излучения от двух взаимозависимых аргументов  $\varphi$  и  $W$ :

$$N_{\text{рас}} = aW^2 + bW + c,$$

где для нашего случая  $a = 13,9(1 - \varphi)^2 - 16,6(1 - \varphi) + 6,2$ ;  $b = -6,2(1 - \varphi)^2 + 4,4(1 - \varphi) - 4,2$ ;  $c = -12,1(1 - \varphi) + 27,1$ .

Уточнение градуировочной характеристики и уменьшение погрешности достигается использованием большого массива измерений, записанных на нефтяном месторождении, и с помощью нейросетевого программирования происходит градуировка прибора и ее постоянное уточнение. В процессе измерений массив данных уточняет градуировочные характеристики путем последовательных приближений по величине ошибок от первоначальной градуировочной характеристики.

Для подтверждения правильности полученных результатов по формуле для  $N_{\text{рас}}$  был создан массив отсчетов  $N_{\text{теор}}$ , эти данные были сравнены с практическими результатами эксперимента, полученными непосредственно при градуировке. Коэффициент корреляции при этом оказался равен 0,99.

Полученный в результате градуировки экспериментальный массив данных был обработан с помощью нейросетевой программы. Весь массив был разбит на две части: по первой нейронная сеть была обучена находить связь между отсчетами по прямому и рассеянному каналам и обводненностью и газосодержанием, а по второй части было проверено качество этого обучения. В результате были построены графики зависимости абсолютной погрешности определения нейронной сетью газосодержания  $\varphi$  и обводненности  $W$  от истинных величин  $\varphi$  и  $W$ .

Полученные результаты показали, что градуировочные характеристики позволяют определять объемную долю воды в смеси с точностью до 5 % и газа до 3 %.

Научный руководитель д-р т. н. проф. *Р.М.Проскуряков*