

## Скважинный расходомер с радиационным датчиком

Сковородников И. Г.

В настоящее время для измерения скорости и направления потока жидкости по стволу скважины широко применяются тахометрические расходомеры. Как правило, эти приборы состоят из датчика-крыльчатки, тахометрического преобразователя и наземного измерительного блока. Основным недостатком таких расходомеров является низкая чувствительность к малым скоростям потока вследствие тормозящих сил взаимодействия между датчиком и преобразователем. Расходомер с радиационным тахометрическим преобразователем не создает тормозящего момента. Известные поверхностные расходомеры с радиационными датчиками [1] не позволяют определять направление потока.

В Свердловском горном институте им. В. В. Вахрушева разработан скважинный расходомер с радиационным датчиком (рис. 1), обладающий высокой чувствительностью и позволяющий определять одновременно и скорость, и направление потока. При этом рабочие характеристики полностью не зависят от электрических и механических свойств жидкости в исследуемом потоке.

Расходомер (см. рис. 1, а) состоит из крыльчатки 1, укрепленной в подшипниках на рамке 2, и каротажа-

ного радиометра. На одну из лопастей крыльчатки нанесен радиоактивный изотоп 3, расположенный эксцентрично относительно оси вращения. Рамка скреплена со стаканообразным свинцовым экраном 4, который с помощью упорных винтов 5 закреплен на нижнем конце скважинного снаряда радиометра 6. Размеры экрана таковы, что он полностью закрывает детектор радиометра 7, защищая его от рассеянного излучения изотопа. В днище свинцового экрана выполнен фигурный вырез 8 клиновидной формы (в плане), располагаемый так, чтобы источник ионизирующего излучения при вращении крыльчатки проходил точно против его середины. Таким образом, здесь осуществляется геометрия узкого пучка — на детектор попадает только прямое излучение источника. Для установки по оси скважины прибор снабжен центрирующими пружинами 9. Скважинный прибор соединяется каротажным кабелем 10 с измерительным пультом радиометра 11 и его самописцем 12.

При измерениях поток жидкости приводит во вращение крыльчатку и радиоизотоп перемещается по направлению к вырезу экрана. Если вращение происходит по часовой стрелке, то при конфигурации выреза, показанной на рис. 1, б, интенсивность излучения, зарегистрированная самописцем, будет сначала плавно возрастать по мере увеличения ширины прорези в экране, а затем резко уменьшаться, когда изотоп выйдет за пределы прорези. Запись изменений интенсивности излучения во времени, полученная в этом случае, показана на рис. 1, в. При противоположном направлении потока крыльчатка вращается в другую сторону. Интенсивность излучения будет в этом случае сначала резко возрастать, а потом плавно спадать, как это показано на рис. 1, г. Таким образом, направление потока легко определяется по виду диаграммы, зарегистрированной самописцем радиометра. Скорость вращения крыльчатки рассчитывается по числу пиков записи за единицу времени. Метки времени наносятся на ту же диаграмму специальным реле самописца. Зависимость между скоростью вращения крыльчатки и расходомером потока по скважине устанавливается посредством тарировки [2].

Этот расходомер может быть выполнен в виде приставки к серийному каротажному радиометру, что обеспечит небольшую стоимость изготовления прибора и широкое распространение его в производственных организациях. Автором выполнены расчеты и эксперименты для определения параметров основных деталей данного расходомера: количества радиоизотопа на крыльчатке, толщины экрана и ширины прорези в нем, оптимального расстояния между детектором, экраном и источником излучения.

В качестве источника излучения в расходомере выбран радиоизотоп кобальта —  $^{60}\text{Co}$ . Мощность источника должна быть такой, чтобы  $\gamma$ -излучение, создаваемое им в месте расположения детектора радиометра, было по меньшей мере на два порядка выше средней радиоактивности горных пород. В этом случае можно пренебречь влиянием естественного излучения стенок скважины на результаты измерений. Кроме того, большая интенсивность излучения уменьшает флюктуации сигнала на выходе радиометра. На основании указан-

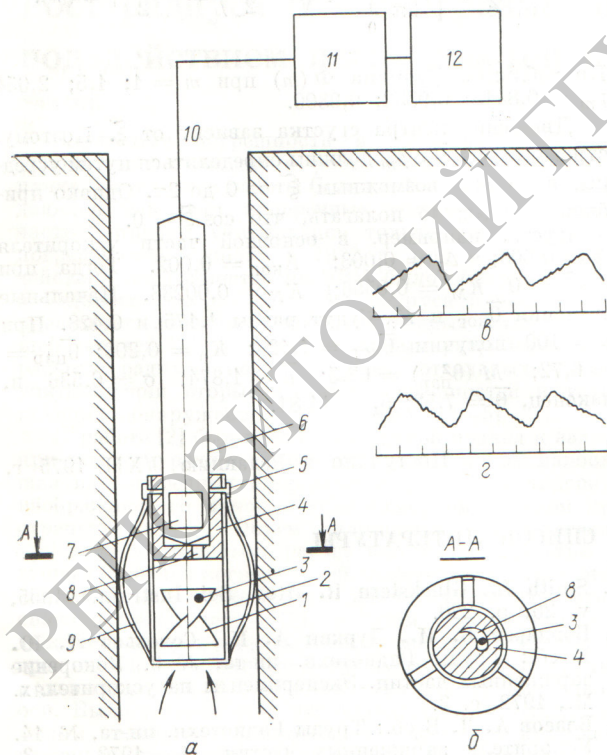


Рис. 1. Скважинный расходомер с радиационным датчиком: а — продольный разрез прибора; б — поперечный разрез экрана по линии АА; в, г — запись интенсивности излучения при восходящем и нисходящем потоках соответственно



ного требования и условно принятого расстояния 10 см между источником и сцинтилляционным детектором было найдено, что необходимая мощность источника составит около 50 мкКи. Расстояние между источником и детектором выбрано на основании оптимальной длины коллимационного канала [3] и конструктивных особенностей скважинного прибора каротажного радиометра [4].

При расчете толщины донной части экрана было принято, что для уверенной фиксации различия интенсивности излучения при положении изотопа против прорези в экране и за ее пределами экран должен ослаблять излучение источника не менее чем в 10 раз. Толщина экрана была найдена по номограммам [5], показывающим кратность ослабления  $\gamma$ -излучения различной энергии от толщины слоя свинца. В соответствии с указанным требованием дно экрана должно иметь толщину не менее 3,5 см. Поглощающим действием жидкости между источником и детектором радиометра можно пренебречь. Толщина боковых стенок экрана, защищающих детектор от мягкого излучения, рассеянного стенками скважины, принята равной 1 см.

Ширина прорези в экране при заданном расстоянии между источником, экраном и детектором излучения выбирается такой, чтобы все излучение, прошедшее через прорезь, полностью попадало на детектор радиометра. Как следует из геометрических построений, приведенных на рис. 2, наибольшая ширина прорези в экране может быть вычислена по формуле

$$\delta = \frac{d \left( l_1 + \frac{h}{2} \right)}{2(l_1 + l_2)},$$

где  $d$  — диаметр детектора излучения (сцинтиллятора);  $l_1$  — расстояние между источником и серединой экрана;  $l_2$  — расстояние между детектором и серединой экрана;  $h$  — толщина экрана. Изотоп должен быть закреплен на крыльчатке на расстоянии  $r = d/2$  от оси вращения.

Если расстояние между источником и детектором равно 10 см, а экран толщиной 3,5 см установить посередине (между ними), то при использовании в качестве детектора кристалла NaI с фотоумножителем ФЭУ-35 максимальная ширина прорези составит 1 см.

Такие геометрические условия измерений были воспроизведены в эксперименте со сцинтилляционным радиометром ПГОЧ-1 («Агат») и радиевым эталоном С-41, содержащим 0,1 мг Ra. Эталон приводился во вращение вручную с различной скоростью. В качестве регистрирующего прибора использовался каротажный потенциометр ПАСК-8. Диаграммная бумага протягивалась с максимальной скоростью от специального электродвигателя в панели контроля каротажа станции АЭКС-900. Зарегистрированные диаграммы имели пилообразную форму, полностью соответствующую рис. 1,  $\epsilon$  и  $\alpha$ , а острые вершины пиков свидетельствовали о том, что расстояние между источником, экраном и детектором выбрано правильно.

Была определена также максимально допустимая скорость вращения крыльчатки, при которой радиометр может зафиксировать изменение интенсивности радиоактивного излучения, проходящего через прорезь в экране. В основу расчета было положено известное

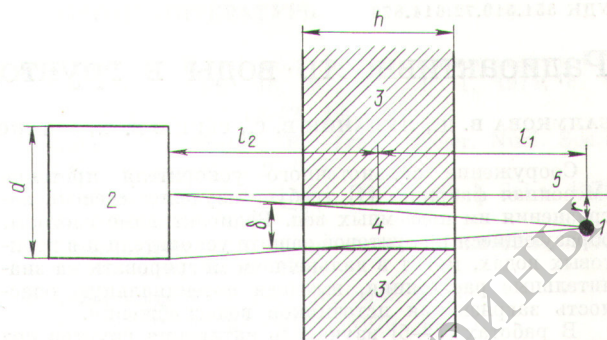


Рис. 2. К расчету ширины прорези в экране:

1 — источник излучения; 2 — детектор радиометра; 3 — свинцовый экран; 4 — прорезь в экране; 5 — ось вращения источника

из теории гамма-каротажа [6] соотношение между постоянной времени радиометра  $\tau$ , скоростью перемещения  $V$  и мощностью радиоактивного пласта  $b/V \gg \tau$ . Если принять, что длина прорези в экране ( $\delta$ ) равна половине длины окружности, описываемой изотопом, и перейти от скорости движения к числу оборотов  $n$ , то это соотношение принимает вид  $1/n \gg \tau$ .

У серийных каротажных радиометров [4] минимальная постоянная времени радиометра  $\tau = 0,5$  с. Наибольшее число оборотов крыльчатки при таком  $\tau$  не должно превышать 60 об./мин. В случае необходимости максимально допустимая скорость вращения крыльчатки может быть увеличена за счет уменьшения постоянной времени радиометра.

Минимальная скорость вращения крыльчатки с точки зрения регистрации ее радиометром не ограничена, поэтому нижний порог чувствительности расходомера будет определяться только силой трения крыльчатки в подшипниках.

В настоящее время скважинный расходомер с радиационным датчиком находится на стадии конструкторской разработки опытного образца.

Поступило в Редакцию 17/XII 1975 г.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агейкин Д. И., Костина Е. Н., Кузнецова Н. И. Датчики систем автоматического контроля и регулирования. М., Машгиз, 1959.
2. Преис В. Ф., Ровенский М. С., Дерун А. М. Временное руководство по проведению гидрокаротажных работ методом расходомерии. Свердловск, 1969.
3. Арцыбашев В. А. Ядерно-геофизическая разведка. М., Атомиздат, 1972.
4. Зельцман А. А. Конструирование аппаратуры для геофизических исследований скважин. М., «Недра», 1968.
5. Гусев Н. Г. Защита от гамма-излучения продуктов деления. М., Атомиздат, 1968.
6. Ларионов В. В. Ядерная геология и геофизика. М., Гостоптехиздат, 1963.