

ЛОГОМЕТРИЧЕСКИЙ ТУРБИДИМЕТР

RATIOMETRIC TURBIDIMETER

Уфимский государственный авиационный технический университет
Ufa State Aviation Technical University

Описан один из вариантов реализации логометрического принципа измерения мутности жидких сред, который позволяет значительно уменьшить погрешности поточных оптических турбидиметров, вызванные загрязнениями окон излучателей и фотоприемников.

One way to realize ratiometric principle of liquid media turbidity measurement is described. The principle makes enable to minimize in-line optical turbidimeters errors concerned with fouling on windows of irradiators and photodetectors.

Измерения мутности жидких сред для решения задач технологического и экологического контроля обычно основаны на определении рассеяния средой энергии какого-либо волнового процесса. В качестве зондирующего излучения могут быть выбраны, например, оптическое излучение, СВЧ-излучение, ультразвук. Наиболее просты оптические мутномеры, которые могут быть построены по схеме турбидиметра (фотоприемник расположен на оси излучения и воспринимает проходящее ослабленное излучение) или нефелометра (приемник расположен под углом к оси излучения и воспринимает рассеянное излучение) [1]. Для поточных мутномеров, которые должны длительное время работать без обслуживания, серьезной проблемой является загрязнение оптически прозрачных окон, за которыми расположены излучатель и фотоприемник. Особенно это относится к устройствам, работающим в потоках, дисперсной фазой в которых является нефть или другие маслянистые жидкости.

Известны оптические анализаторы мутности, в которых применяются различные средства для уменьшения влияния поверхностных загрязнений. Такими средствами обычно являются:

- разогрев стекол с целью размягчения налипших вязких субстратов с их последующим вымыванием потоком воды;
- обработка поверхности стекол специальными антиадгезионными полимерами;
- создание тонкого изолирующего слоя воздуха или горячей воды между окном и анализируемой средой [2];
- периодическое "встряхивание" прозрачных окон ультразвуком с помощью пьезоэлементов;
- периодическая очистка стекол с помощью механических "дворников" [3] и т.д.

Однако практическая реализация таких устройств связана со значительными затратами, тогда как метрологическая надежность не достигает желаемого уровня, так как вероятность поверхностных загрязнений оптики все же не исключается полностью. Так, например, опыт эксплуатации оптических приборов в потоках водонефтяной эмульсии показал, что отложения асфальтосмолистых веществ и парафинов делают очистку малоэффективной.

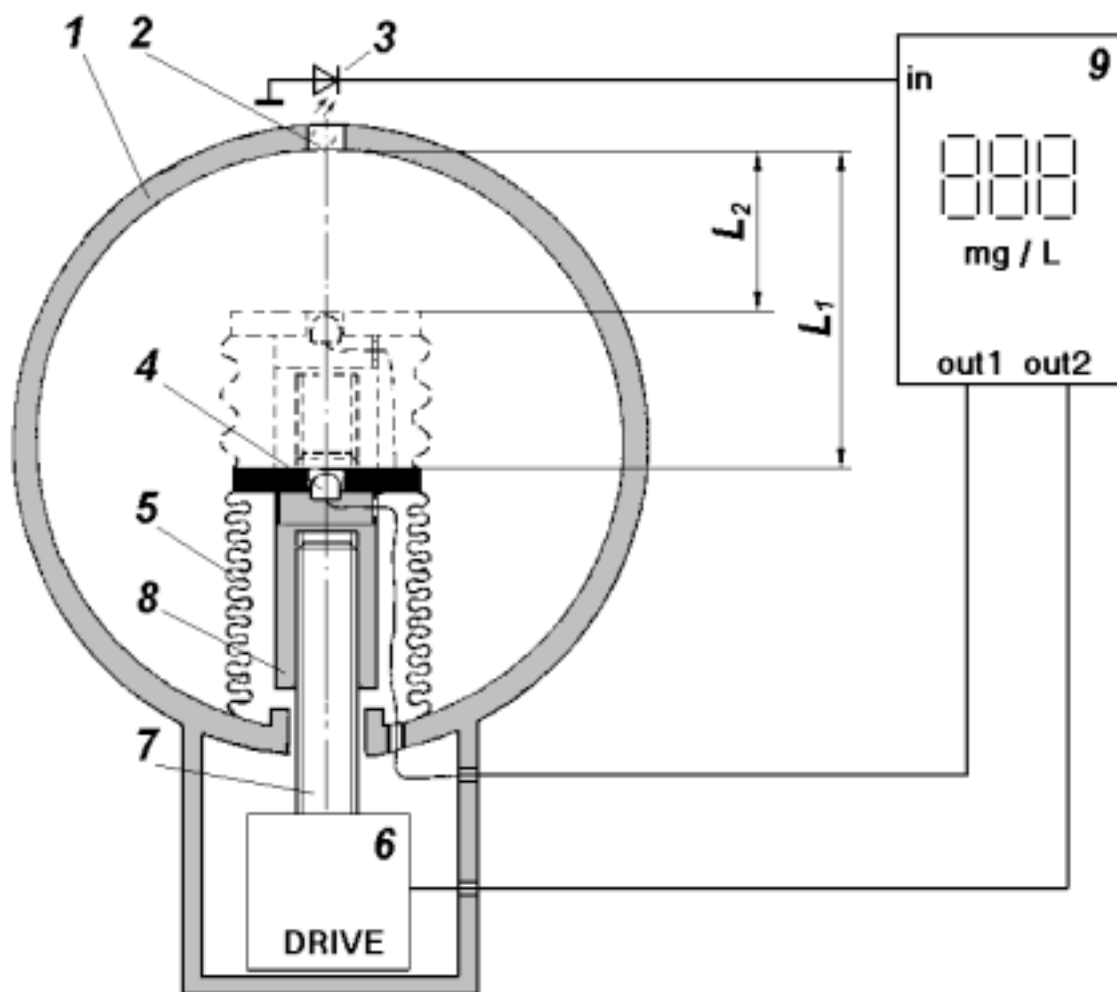
Альтернативным направлением решения описанной проблемы является отказ от очистки окон вообще и определение мутности среды посредством двух или более измерений, результаты которых используются в схеме обработки сигналов для получения итогового результата, инвариантного к загрязнениям.

В рамках такого направления весьма перспективна реализация логометрического принципа измерения, согласно которому интенсивность затухающего излучения измеряют для двух разных измерительных баз (расстояний между приемником и излучателем), а затем находят результат как отношение этих интенсивностей. При этом не требуется высокая стабильность излучения и канала преобразования, и влияние загрязнения окон приемника и излучателя на результат преобразования сводится к минимуму.

Важно, чтобы в этих двух измерениях участвовали одни и те же приемник и излучатель. Этого можно просто достичь, периодически сдвигая и раздвигая приемник и излучатель и производя соответствующие замеры.

Реализовать механическое движение одного из элементов пары "приемник-излучатель" при сохранении герметичности (часто в условиях больших давлений и агрессивности среды) довольно непросто. В предлагаемой авторами конструкции турбидиметра эта проблема решается с помощью сальфонов. Любые технические решения, связанные с использованием сальниковых уплотнений, здесь не подходят из-за их малого ресурса.

На рисунке приведена схема турбидиметра, реализующего логометрический принцип измерения мутности. В измерительной камере 1 турбидиметра (которая может являться частью трубопровода) расположено прозрачное окно 2, за которым находится фотоприемник 3. Излучатель 4 расположен напротив фотоприемника: он герметично смонтирован в торцевой стенке сильфона 5, который, в свою очередь, имеет герметичную заделку в стенке измерительной камеры. Сжатие-растяжение сильфона осуществляется с помощью электропривода 6, подвижного элемента 7 и направляющего элемента 8. В качестве примера исполнения можно привести такой вариант, при котором в качестве электропривода используется реверсивный электродвигатель с редуктором, а подвижным элементом является винт, которому сообщается вращательное движение. Винт вворачивается (выворачивается) по резьбе в направляющий элемент, жестко связанный с торцом сильфона, и тем самым растягивает (сжимает) сильфон. Работой устройства управляет контроллер 9, имеющий вход для подключения аналогового сигнала фотоприемника и два управляющих выхода - один для включения излучателя, другой (двуполярный) - для коммутации и реверса электропривода.



1 - измерительная камера (measuring camera); 2 - прозрачное окно (transparent window); 3 - фотоприемник (photodetector); 4 - излучатель (irradiator); 5 - сильфон (syphon); 6 - электропривод (electric drive); 7 - подвижный элемент (moving element); 8 - направляющий элемент (guide element); 9 - контроллер (controller)

Работа устройства сводится к формированию на выходах контроллера программно-управляемой последовательности инициирующих сигналов для электропривода и излучателя, измерению в соответствующие моменты времени сигнала на выходе фотоприемника и расчету концентрации частиц. Цикл работы выглядит как периодически повторяемая последовательность "сжатие сильфона → излучение и измерение → растяжение сильфона → излучение и измерение → вычисление концентрации".

Сигналы фотоприемника измеряются при положениях сильфона, соответствующих расстояниям L_1 и L_2 между фотоприемником и излучателем (на рисунке пунктиром показано выдвинутое положение сильфона). Эти сигналы подчиняются следующим зависимостям:

$$U_1 = k \cdot A_0 \cdot e^{-L_1 N},$$

$$U_2 = k \cdot A_0 \cdot e^{-L_2 N},$$

где U_1, U_2 - сигналы, измеренные на выходе фотоприемника ;

N - искомая концентрация частиц;

A_0 - яркость излучения излучателя;

k - коэффициент преобразования, зависящий, в частности, от степени прозрачности (загрязнения) окон фотоприемника и излучателя.

В функции контроллера входит и вычисление итогового результата:

$$N = \frac{\ln\left(\frac{U_2}{U_1}\right)}{L_1 - L_2}.$$

Как видим, сократились нестабильные составляющие k и A_0 . Разность же $L_1 - L_2$ является известной константой конкретного турбидиметра.

Авторами испытывался ряд экспериментальных образцов турбидиметров, работающих по логометрическому принципу, предназначенных для поточных измерений концентрации нефти в воде. Диапазон возможных концентраций составлял 0-100 мг/л, максимальное гидростатическое давление внутри трубопровода - 1,6 МПа. Расстояния L_1 и L_2 составляли соответственно 80 и 40 мм. В качестве источников излучения и фотоприемников испытывались полупроводниковые свето- и фотодиоды соответственно, работающие в различных диапазонах спектра : от синего до ближнего инфракрасного. Практически пригодными для использования в условиях накопления на окнах нефтяных осадений оказались только приборы с красным и инфракрасным излучением. Причем слой осадений оказался наиболее прозрачным для инфракрасного излучения с длиной волны 0,93 мкм. В более длинноволновой области инфракрасного диапазона резко усиливается поглощение излучения водой, поэтому в той области спектра выбирать рабочую длину волны нецелесообразно. Испытания показали независимость результатов измерения мутности водонефтяной среды от загрязнений на окнах толщиной слоя до 0,2-0,5 мм. При более толстослойных отложениях погрешность все же появляется, что очевидно, связано как с затуханием излучения в загрязняющем слое (что ухудшает соотношение "сигнал/шум") , так и с диффузным рассеянием внутри слоя (что увеличивает угол раскрытия диаграмм направленности излучателя и приемника). Поэтому при сильных загрязнениях весьма полезным может оказаться сочетание логометрического принципа измерения с вышеперечисленными средствами очистки окон оптических элементов.

Если по каким-либо причинам (например, высокое давление, большой скоростной напор и т.д.) реализовать описанный логометрический турбидиметр с подвижным элементом невозможно, то вполне приемлемыми могут оказаться неподвижные конструкции с одним излучателем и двумя (или более) фотоприемниками, расположенными на разных измерительных базах. Результат здесь определяется как отношение значений сигналов фотоприемников. Однако в этом случае различие степени загрязнения окон фотоприемников может привести к значительной погрешности. Проблема в этом случае может быть решена путем организации дополнительных каналов измерения. Например, известны турбидиметры с бихроматическим излучателем (работающими, как правило, попеременно в инфракрасной и красной областях спектра). При двух измерительных базах это дает возможность получить дополнительную информацию о степени загрязнения окон в каждом из каналов и учитывать это при расчете результата. Возможна также установка вместо единичных фотоприемников двух фотоприемных матриц, распределенных на достаточно большой площади, сигналы с которых подвергаются статистической обработке (включая отбраковку промахов). Отношение находится для осредненных сигналов. Последнее решение позволяет получить систему с повышенной живучестью и метрологической надежностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Измерения в промышленности: Справочник в 3-х кн. Кн.3. Способы измерения и аппаратура: Пер. с нем. / Под ред. Профоса П. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Металлургия, 1990. - С. 106-107.
2. Беляков В.Л. Автоматизация промысловой подготовки нефти и воды. - М.: Недра, 1988. - С. 133-134.
3. Электронное оборудование фирмы FMA MORER // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. - 1996, № 2. - С.13-18.