

## **Поточный анализ и контроль ТП: методы анализа, преимущества и специфика применения**

**А.А. Кигель, Д.А. Чернокозинский, И.И. Зильберман (Компания «Модкон Системс»)**

*Рассмотрены различные аспекты выбора метода измерений и оборудования для поточного анализа качества жидкостей и газов. Множество производителей и разнообразие методов измерений ставит технический персонал промышленных предприятий перед проблемой выбора подходящего оборудования или метода поточного анализа. В статье описаны наиболее распространенные методы измерений, рассматривается их применение с учетом характеристик процесса и специфики поставленной задачи.*

*Ключевые слова: поточные анализаторы, фотометрический анализ, удаленный анализ, газоанализаторы, мониторинг качества воздуха.*

### **Введение**

Ужесточение конкуренции и финансовый кризис, связанный с нестабильностью рыночных цен на добываемое сырье (в частности, нефть), обязывает крупные и мелкие компании оптимизировать добычу и производство путем снижения затрат и улучшения качества производимой продукции. Помимо этого, повышенный контроль регулирующих органов и ужесточение норм, связанных с охраной окружающей среды, обязывает производителей к соблюдению регламентов, ограничивающих и контролирующих выбросы загрязняющих веществ.

Быстрый рост автоматизации производства, наблюдаемый в последние несколько лет, существенно ускорил использование поточного анализа качества. Большое число производителей и разнообразие методов измерений ставит технический персонал промышленных предприятий перед проблемой выбора подходящего оборудования или метода поточного анализа. В данной статье представлены существующие методы поточного анализа качества, наиболее применяемые в той или иной сфере.

### **Задачи при выборе подходящего оборудования**

Правильный выбор оборудования зачастую является краеугольным камнем успешного воплощения проекта или удачного решения поставленной задачи. Требуемый анализ можно осуществлять различными, порой существенно отличающимися между собой методами. Не всегда выбранный метод является наиболее подходящим для поставленной задачи. Перед принятием решения о наиболее подходящем методе поточного анализа и выборе конкретной марки оборудования следует заранее определить следующие параметры:

1) свойства, обязательные к анализу, а также дополнительные, измерение которых возможно без

лишних затрат или усилий, связанных с улучшением или переоснащением системы;

2) технические параметры измеряемой и окружающей среды;

3) требуемая и желательная точность и периодичность анализа;

4) наличие квалифицированного технического персонала для обслуживания систем анализа;

5) наличие и оснащенность системы подготовки пробы к анализу.

### **Поточные анализаторы для мониторинга химических и физических свойств жидкой среды**

Поточные анализаторы делятся на простые датчики физических свойств, например, pH, электропроводности, вязкости или плотности, и более сложные анализаторы, выполняющие прямые или косвенные измерения.

При прямых измерениях анализаторы обычно производят измерения одного параметра строго в соответствии со стандартным методом и нуждаются в трудоемком техническом обслуживании. Длительное время измерения, а также необходимость в постоянной замене реагентов обычно компенсируется высокой точностью измерений, которая оговорена самим методом измерения. Селективность данных систем в большинстве случаев не ограничена и не зависит от компонентного состава процесса и метода измерения.

Другой тип анализаторов, используемых для поточного анализа качества, основан на косвенных измерениях. При косвенных измерениях искомое значение рассчитывают на основании зависимости между измеряемой величиной и результатами прямых измерений, выполненных с помощью стандартных методов. В большинстве случаев использование косвенных измерений имеет весомое преимущество

над прямыми методами измерения: косвенные измерения гораздо быстрее и дешевле, чем традиционные прямые методы, которые требуют больших затрат труда, времени, дорогих реагентов и трудоемкого обслуживания оборудования.

К анализаторам, основанным на косвенных измерениях, относятся, например, поточные спектрофотометры (рис. 1), принцип измерения которых основан на изменении интенсивности поглощения или отражения света в одном из световых диапазонов: ультрафиолетовом, видимом или инфракрасном. В фотометрах сигнал, получаемый во время измерения, определяется оптической плотностью вещества известного состава, химически связанного с определяемым компонентом. Такие приборы, как правило, состоят из источника света, датчика-фильтра, принимающего световой сигнал, и цифрового преобразователя, который переводит сигнал в информационную величину или единицу, по которой можно охарактеризовать качество анализируемого вещества. Данные анализаторы могут устанавливаться непосредственно в технологической линии, не требуя сложной системы забора или возврата пробы в процесс [1]. Обслуживание таких систем очень простое и обычно ограничивается профилактическими работами.

Для простоты и удобства обслуживания, калибровки или проверки системы рекомендуется устанавливать ее на байпасную линию, чтобы в случае необходимости ее можно было легко отсоединить от измеряемого процесса. В таких случаях для обеспечения нормативной работы системы требуется перепад давления между точкой отбора и возврата пробы. Величина перепада зависит от конструкции системы анализа и ограничивается диапазоном в 0,5...3 бар.

Преимуществом анализаторов, работающих по принципу фотометрического анализа, является возможность их установки как непосредственно на технологической линии, так и за пределами взрывоопасной зоны, например, в операторской на расстоянии до 400 м от датчика.

Анализаторы обычно состоят из двух отдельных частей – лампового модуля и датчика, которые крепятся непосредственно на измерительной ячейке. Селективность фотометров довольно ограничена и, как правило, определяется длиной волны, на которой поглощает тот или иной химический элемент. Однако при правильной постановке задачи данные анализаторы выступают в роли простой и практичной альтернативы анализаторам, работающим по принципу экстракции и снабженным сложной системой пробоподготовки.

Выбор подходящего оборудования возможен при грамотной постановке задачи. Подробная техниче-



Рис. 1. Взрывозащищенная версия фотометрического анализатора

ская информация играет наиважнейшую роль при выборе метода измерения. Правильный выбор метода измерения является важным фактором успешного решения поставленной задачи и зависит как от физических, так и от химических характеристик процесса или измеряемой среды.

#### Удаленный анализ в режиме реального времени

Для нефтеперерабатывающих заводов, станций смешения и нефтехимических заводов характерны огнеопасные и взрывоопасные условия. Установка различных анализаторных систем во взрывоопасной зоне требует значительных затрат на корпуса и конструкции, соответствующие требованиям директивы АТЕХ. Обслуживание таких анализаторных систем является дорогостоящим и опасным для персонала.

Использование технологии удаленного анализа качества предоставляет возможность измерять многочисленные свойства совершенно различных потоков на удаленном расстоянии в масштабах всего предприятия. При этом поточный анализатор располагается в безопасной зоне, например, в центральной операторской, тогда как измерительные ячейки устанавливаются непосредственно на технологической линии. Этот подход может быть реализован с использованием БИК анализатора (рис. 2), который соединяется со взрывобезопасными измерительными ячейками с помощью оптоволоконного кабеля. Последний характеризуется минимальными потерями сигнала, устойчивостью к воздействиям окружающей среды и антикоррозионной устойчивостью, а также невосприимчивостью к электромагнитным помехам [2].

К одному анализатору можно одновременно подключить несколько измерительных ячеек, при этом допустимое расстояние между анализатором и измерительной ячейкой может быть от десятков метров до нескольких километров. Важным преимуществом является модулярность системы: начав с мониторинга единичного параметра одного из потоков, в дальнейшем можно легко расширять систему путем добавления измерительных ячеек для дополнительных потоков и увеличения числа измеряемых параметров до нескольких десятков и даже сотен.

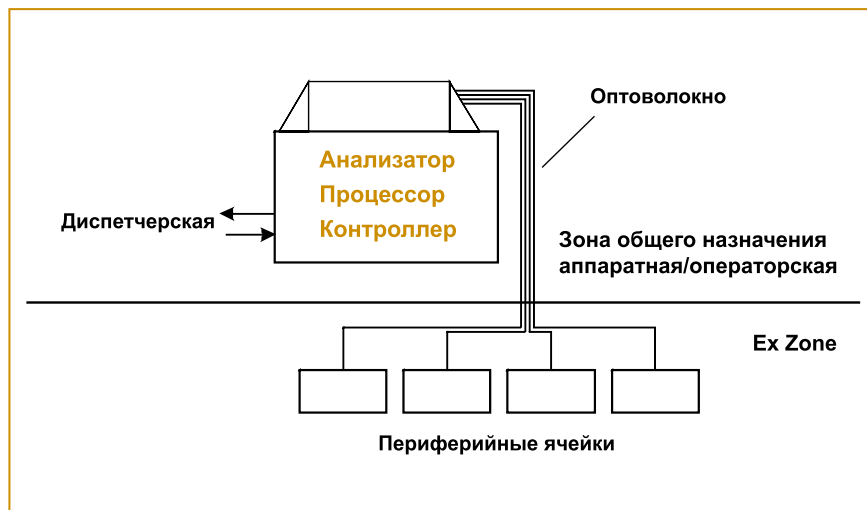


Рис. 2. Разделение оборудования между взрывоопасной зоной и зоной общего назначения

Спектроскопия ближней инфракрасной области (БИК-спектроскопия) представляет собой современный инструментальный метод количественного и качественного анализа. Это косвенный метод измерений, основанный на сочетании спектроскопии и статистических методов исследования многофакторных зависимостей. При интегрировании в систему управления БИК-спектрометр обеспечивает более точное управление процессом и обнаруживает выход параметров процесса за допустимые пределы до того, как это успеет повлиять на качество продукции [3].

#### Поточные анализаторы для мониторинга химических и физических свойств газовой среды в ТП

Газоанализаторы (рис. 3) — это приборы, применяемые для количественного и качественного измерения смеси газов или загазованности в технологическом процессе и на открытой местности. Газоанализаторы позволяют анализировать химический состав или физические свойства смеси газов или отдельных ее компонентов. Существует множество различных методов измерений, применяемых для анализа или контроля газовой среды. Рассмотрим наиболее распространенные и применяемые в промышленности решения.

1. Фотометрические или оптические анализаторы используются для определения качеств измеряемого потока путем поглощения света.

2. Электрохимические анализаторы по большей части предназначены для определения токсических газов.

3. Термокаталитические методы используются в основном в стационарных газоанализаторах или датчиках загазованности и применяются



Рис. 3. Система анализа качества для мониторинга газовой среды

для измерения взрывоопасных газов на открытой местности.

4. Термокондуктометрические методы применяются в основном для определения теплотворной способности газа.

5. Парамагнитный метод измерения является самым распространенным на сегодняшний день способом количественного измерения кислорода в процессе и отличается высокой точностью.

6. Циркониевый метод измерения также используется для измерения кислорода. Будучи более устаревшим методом измерения, он все еще пользуется большим успехом у потребителей благодаря своей низкой цене и технологической гибкости, позволяющей

установку датчика непосредственно в процессе без использования системы пробоотбора или подготовки.

Газоанализаторы на сегодняшний день широко применяются во многих отраслях промышленности, прежде всего, в энергетической, химической и нефтехимической. Поточный анализатор газовой фазы применяется как для контроля ТП и анализа качества продукции, так и для мониторинга выбросов в окружающую среду.

По принципу применения и характеристике измерений газоанализаторы делятся на три вида:

1) стационарные датчики загазованности или датчики определения токсических выделений в окружающую атмосферу;

2) системы анализа качества, внедренные непосредственно в ТП;

3) газовые хроматографы, применяемые для решения сложных задач ТП. Эти анализаторы отличаются более сложным принципом измерения и зачастую требуют квалифицированного обслуживания.

Большинство газоанализаторов, используемых для поточного анализа, имеют дополнительное подключение для количественного перерасчета концентрации веществ в зависимости от значений давления и температуры, полученных от вторичного прибора. Важно отметить, что количественное соотношение веществ в газовой среде изменяется в зависимости от давления и температуры технологического газа.

Следует различать измерения, производимые непосредственно в самом потоке посредством внедрения измерительной ячейки или зонда в процесс, и экстракционные измерения посредством отбора пробы для последующего

анализа. Системы анализа с использованием измерительных зондов или проточных ячеек позволяют производить измерения непосредственно в самом потоке. Преимуществом данных анализаторов над системами анализа с использованием экстракционного метода отбора проб является их практичность и более низкая стоимость. Нет надобности в системе пробоподготовки или отбора пробы, что существенно снижает затраты как на приобретение системы, так и на профилактическое обслуживание. Однако это преимущество может являться и недостатком, ограничивая гибкость установки системы, так как не всегда технические параметры системы анализа соответствуют технологическим данным процесса.

Система анализа, основанная на методе экстракции (отбора пробы для измерения), обычно используется в тех случаях, когда нет возможности произвести измерение напрямую в самом процессе. При этом возникает надобность в системе подготовки пробы, что в значительной степени усложняет и удорожает систему анализа, однако позволяет производить измерения комплексных или более сложных ТП.

Как и в ранее описанных поточных анализаторах измерения качеств жидких потоков, система проботбора и подготовки пробы играет существенную роль в процессе приготовления пробы для газоанализаторов. Например, фотометрические системы анализа качеств отличаются чувствительностью к загрязнению пылью и влагой, что приводит к необходимости установки дополнительных фильтров или систем осушки.

Процессы, связанные со сгоранием, зачастую происходят при экстремальных условиях. Очень высокая температура (до 2000 °С), давление до 100 атм. и высокое содержание влаги усложняют выполнение поточных измерений. При этом точность и правильность измерений зависит, прежде всего, от правильной и качественной системы проботбора и подготовки пробы.

Изначально метод газовой хроматографии был предназначен для анализа качеств в лабораторных условиях. В связи с этим поточные газохроматографы по своему строению напоминают лабораторные анализаторы-хроматографы, которые позже были оптимизированы для поточного анализа производственных процессов. Хроматографические анализаторы используются для определения состава смеси газа (или жидкости) путем индикации количественного и качественного состава смеси. Эти системы анализа предназначены для решения сложных и комплексных задач, с которыми другие методы измерения не всегда в силах справиться. Например, анализ низких концентраций веществ на уровне ppb или измерение большого числа различных компонентов при помощи одной системы анализа.

Воплощение сложных решений анализа качеств с помощью газовой хроматографии выполнимо благодаря возможности комплектации несколькими хроматографическими колоннами различных типов

и специальными печками, которые позволяют уменьшить время измерения в десятки раз и увеличить число измеряемых компонентов по сравнению с лабораторными хроматографами.

При этом важно помнить, что время измерения у газовых хроматографов составляет в лучшем случае 2...3 мин, в то время как обычные газоанализаторы способны выполнять измерение в режиме реального времени. Стоимость газовых хроматографов гораздо выше, чем газоанализаторов, что является немаловажным фактором при выборе оборудования для решения поставленной задачи.

Технологический прогресс, произошедший за последнее десятилетие, позволяет использование и более продвинутых методов измерений, например, посредством технологии лазерного луча. Данный метод отличается высокой точностью и практически не требует технической поддержки. Однако данная технология пока несовершенна, имеет температурные ограничения и нестабильна при высоких давлениях процесса, а также отличается более высокой ценой по сравнению с конвенциональными анализаторами, что зачастую является определяющим фактором при выборе системы потребителем.

#### Поточные анализаторы для мониторинга качества воздуха

Мониторинг качества воздуха имеет большое значение для местных органов власти, а также для крупных государственных и частных предприятий в целях определения и предотвращения загрязнения воздуха и оценки источников выбросов, для сохранения здоровья и борьбы с парниковым эффектом. Комплексные системы анализа качества позволяют определять содержание наиболее распространенных загрязнителей атмосферного воздуха, таких как озон ( $O_3$ ), окись азота ( $NO_2$ ), окислы азота ( $NO_x$ ), окись углерода ( $CO$ ), двуокись серы ( $SO_2$ ), летучие органические вещества ( $VOC$ ), сероводород ( $H_2S$ ), аммиак ( $NH_3$ ), неметановые углеводороды ( $NMHC$ ), двуокись углерода ( $CO_2$ ) и др. Также выполняются измерения характеристик взвешенных частиц ( $TSP$ ,  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_1$ ), уровня шумов и метеорологических параметров, таких как температура, относительная влажность, скорость и направление ветра.

В данном случае немаловажен индивидуальный дизайн и разработка систем мониторинга качества воздуха под нужды проекта. Дизайн таких систем производится в полном соответствии с требованиями заказчика, а также при соблюдении норм и требований регулирующих органов. Для измерения качества воздуха и выброса токсических частиц существует множество различных методов измерения. Рекомендуется использовать наиболее зарекомендовавшие себя методы:

1) хемилюминесценция для мониторинга  $NO$ ,  $NO_x$ ,  $NO_2$ ,  $NH_3$ ;

2) ультрафиолетовая спектроскопия для мониторинга  $SO_2$  и общего количества восстановленной серы;

- 3) инфракрасная спектроскопия для мониторинга CO;
- 4) абсорбционная спектроскопия для мультикомпонентных измерений;
- 5) газовая хроматография посредством фото-ионизации для мониторинга бензола, толуола, этилбензола, ксилолов, бутadiens и других соединений;
- 6) фото-ионизация для мониторинга CH<sub>4</sub>, mHC, THC;
- 7) поглощение бета-лучей для мониторинга тонкодисперсных частиц.

Обычно системы такого типа поставляются как комплексное решение для мониторинга качества воздуха и планируются как единый пакет решений, который включает аналитический шельтер, анализаторы, систему пробоподготовки и вывода данных. Аналитический шельтер предназначен для размещения в едином блоке любой комбинации поточных анализаторов, требующих специального помещения. Он представляет собой автономную систему, предоставляющую надлежащие условия для выполнения анализа качества и обеспечивает контроль климата, электропитание, кондиционирование, а также связь с АСУТП. Аналитический шельтер, оборудованный системами аварийного оповещения о загазованности, позволяет производить локальное обслуживание и устранение неполадок систем анализа качества в условиях, безопасных для обслуживающего персонала.

#### Заключение

Рассмотренные системы анализа качества применяются для контроля ТП или качества выбро-

сов с учетом характерных условий места установки и окружающей среды. В некоторых случаях, при отсутствии более практичного решения, установка систем должна производиться в непосредственной близости к ТП, что требует наличия специального кожуха. При этом также необходима разрешительная документация, позволяющая применение оборудования в заданных экстремальных условиях окружающей среды, особенно во взрывоопасной зоне и при высоких температурах.

Предоставление комплексных решений для мультикомпонентного анализа позволяет решение сложных задач, связанных с контролем качества или мониторингом выбросов, посредством применения различных методик и решений в одной системе.

Большой выбор методов анализа и контроля качества ТП является безусловным преимуществом, так как предоставляет неограниченные возможности при выборе подходящей системы, однако полная информация и правильный подход к поставленной задаче является весомым фактором успешности проекта.

#### Список литературы

1. Кигель А.А., Чернокозинский Д.А. Контроль содержания нефтепродуктов в системах оборотного водоснабжения// Автоматизация в промышленности. 2014. №5. 30-33.
2. Кигель А.А., Зильберман И.И. Контроль качества сырья и нефтепродуктов в режиме реального времени с использованием корреляционных методов измерения БИК и ЯМР// Автоматизация в Промышленности. 2013. №6. 17-20.
3. Zilberman I., Bigman J., Sela I. Spectroscopy with Communications Fiber Optics for Real Time Process Control // Hydrocarbon Processing. 1996. №5.

*Кигель Ариэль Александрович — д-р хим. наук, руководитель отдела НИОКР, Чернокозинский Дмитрий Александрович — руководитель направления Промышленная фотометрия и газовый анализ, МВА, Зильберман Ирина Иосифовна — инженер-математик компании «Модкон Системс», МВА. Контактный телефон (+972) 49-55-39-55. E-mail: arielk@modcon-systems.com*

#### Анализ качества сырой нефти

Поточный анализ качества сырой нефти чрезвычайно важен, поскольку он позволяет оценить потенциальное качество сырой нефти. Помимо этого, с повышением доли сырой нефти в мировом энергетическом балансе растет необходимость точного измерения основных параметров качества, таких как концентрация солей, воды, серы, а также плотность и вязкость. Контроль содержания солей и серосодержащих компонентов в нефти позволяет:

- защитить оборудование от коррозии;
- увеличить межремонтный период работы установок ректификации нефти и мазута от 1-2 до 3-5 лет;
- продлить межремонтный период работы установок вторичной переработки нефтяных фракций;
- уменьшить расход технологического топлива, реактивов и катализаторов.

Пробы отбираются в любой точке трубопровода (от устья скважины до нефтеперерабатывающего завода), а быстрый поточный анализ позволяет оценивать качество добываемого или поступающего товара, а также получаемого посредством смешения, и незамедлительно проводить корректирующие действия при выходе параметров за допустимые пределы.



Новый анализатор MOD-4100 представляет собой значительный шаг вперед в области поточного анализа сырой нефти, давая возможность определять концентрацию солей, воды, серы, а также плотность и вязкость сырой нефти посредством одной аналитической системы. Анализатор изготовлен из нержавеющей стали и предназначен для внешней установки.

Поточная аналитическая система представляет собой полный комплект оборудования, включающий ротаметр, датчик температуры и фильтр, которые позволяют выполнять следующие задачи в режиме реального времени в полевых условиях:

- непрерывный отбор проб сырой нефти из трубопровода или технологического сосуда, фильтрация и отделение от твердых частиц;
- анализ важных параметров нефти, необходимых для оценки ее качества и пригодности для переработки, транспортировки и применения;
- передача результатов анализа в операторскую заказчика для дальнейшей корректировки и расчетов оптимизации сырья, подаваемого на переработку.

[Http:// modcon-systems.com](http://modcon-systems.com)