

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ГОРЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПЕРЕСТРАИВАЕМОГО ДИОДНОГО ЛАЗЕРНОГО ГАЗОАНАЛИЗАТОРА TDLS200

Ю. Иошитака, А. Мурата (Компания Yokogawa)

Представлен лазерный газоанализатор TDLS200 нового поколения, основанный на методе абсорбционной спектроскопии с использованием перестраиваемого диодного лазера. TDLS200 обладает высокой селективностью и долговременной стабильностью, предназначен для быстрого *in-situ* анализа в агрессивных газовых средах и в процессах с высокими температурами. Описан метод определения концентрации окиси углерода в дымовых газах с использованием лазерного газоанализатора TDLS200 в режиме РВ, целью которого является применение полученных данных для оптимального управления процесса горения, а также сохранение окружающей среды.

Ключевые слова: лазерный газоанализатор, абсорбционная спектроскопия, диодный лазер, концентрации окиси углерода, дымовые газы.

Введение

Во многих отраслях современной промышленности в качестве основного источника энергии служат печи для сжигания топлива различного типа, размера и объема, являющиеся основой всего производственного процесса. Поскольку в печах расходуется огромное количество топлива, такого как газ или мазут, то эффективность и эксплуатационные расходы предприятия прямо зависят от КПД сгорания. С другой стороны, в результате процесса горения генерируется очень большое количество отходящих газов, в том числе и парниковых, основным из которых является CO_2 . Вопрос снижения объемов парниковых газов в атмосфере в последние годы приобрел важное значение в дополнение к борьбе с загрязнением, вызванным оксидом азота, оксидом серы и др.

Чтобы минимизировать нагрузку на окружающую среду, связанную с выбросом отходящих газов и рассеянием тепла, но при этом сохранить стабильную поставку энергии (тепла) для работы предприятия, применяются передовые технологии измерения и управления. Производственная печь представляет собой капитальное сооружение, которое эксплуатируется на протяжении нескольких десятилетий, при этом условия эксплуатации печи зависят от многих

факторов, в том числе от отрасли промышленности, самого предприятия и производственного оборудования. В результате требуется не только надлежащее измерение и поддержание на должном уровне концентраций O_2 и CO , но также решение других не менее важных задач. Например, традиционные нагревательные печи имеют на входе обычный воздух, их внутреннее давление не является однородным, а попадание в печь воздуха, не используемого для горения, через трещины, которые часто встречаются в старых печах, снижает эффективность горения, даже если подача воздуха регулируется заслонкой.

Для достижения безопасного и оптимального управления процессом горения необходимо выработать стратегический план всесторонней диагностики печи (укрепление стенок, модернизация заслонки, системы управления и т.д.). Следующим шагом должна быть установка лазерного газоанализатора.

Печь для сжигания и управления соотношением воздух-топливо

Процесс горения представляет собой сложный физико-химический процесс превращения компонентов горючей смеси в продукты сгорания с выделением теплового излучения, света и лучистой энергии.

При этом количество воздуха, подаваемого в камеру сгорания, напрямую влияет на характер процесса. Таким образом, недостаток кислорода приводит к неполному сгоранию топлива, в результате чего происходит выделение большого количества сажи и дыма. С другой стороны, при избытке кислорода выделяется большое количество отходящих газов и тратится дополнительная энергия на нагрев избытка воздуха, приводя в результате к низкой эффективности топлива. На рис. 1 приведена диаграмма состояния процесса горения в зависимости от соотношения воздух-топливо. Соотношение воздух-топливо (ось X) показывает отношение фактического притока воздуха к теоретическому количеству воздуха, необходимого для сгорания топлива (теоретическое количество воздуха).

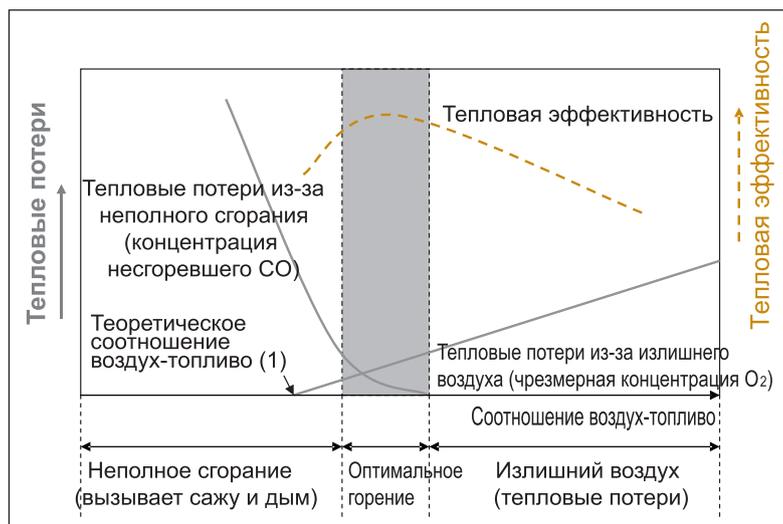


Рис. 1. Зависимость тепловой эффективности процесса горения от соотношения воздух-топливо



Рис. 2. Внешний вид лазерного газоанализатора TDLS200

С целью оптимизации управления соотношением воздух-топливо для повышения эффективности процесса горения в печах сжигания, таких как нагревательные печи и котлы, на заводах и фабриках обычно применяются локальные одноконтурные контроллеры. В больших печах сжигания для этих целей применяются распределенные системы управления (PCU), многопараметрический упреждающий контроль и др. Таким образом, реализуется максимально эффективный контроль соотношения воздух-топливо и внутреннего давления в печи, что помогает предотвратить выделение CO, CO₂ и NO_x, а применение перекрестного замыкания предотвращает неполное сгорание топлива.

Функциональные особенности лазерного газоанализатора и управление печью для сжигания

Обзор функциональных особенностей лазерного газоанализатора TDLS200

На рис. 2 показан внешний вид лазерного газоанализатора TDLS200, который предназначен для измерения концентрации компонентов газа ТП с помощью метода абсорбционной спектроскопии на основе перестраиваемого лазерного диода (TDLAS). TDLS200 измеряет оптический спектр поглощения молекул, лежащий в инфракрасной и ближней инфракрасной областях, который образуется благодаря колебательным и вращательным энергетическим переходам данной молекулы. Источником инфракрасного излучения служит полупроводниковый лазер с крайне узким диапазоном длин волн. На рис. 3 по-

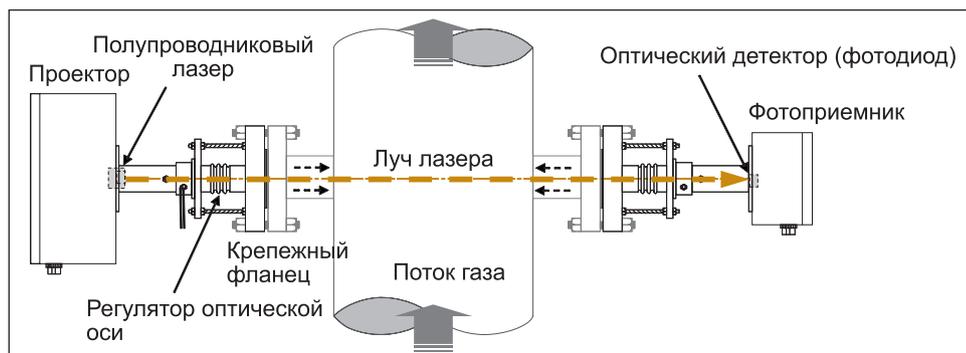


Рис. 3. Измерение концентрации дымового газа с помощью TDLS200

Научная мысль подобна потоку: она прекрасна, когда стремится вперед; когда же поток останавливается, то превращается в болото.

Журнал «Автоматизация в промышленности»

казан пример применения TDLS200 для измерения концентрации дымового газа.

Для измерения спектра поглощения применяется метод обчета пиков по их площади, специально разработанный для точного измерения в ТП, где состав, давление и температура меняются одновременно. Поскольку анализатор TDLS200 свободен от влияния газов, сопутствующих измеряемому веществу, характеризуется высоким разрешением при измерении спектра поглощения и возможностью установки непосредственно на уровне ТП, что позволяет лазерному лучу проходить через измеряемый компонент (рис. 3), то средняя концентрация последнего может быть надежно измерена в РВ и с высокой скоростью даже в среде с высокой температурой (макс. 1500 °С) или в агрессивной среде. Эти преимущества позволяют использовать данные, полученные от анализатора, непосредственно для регулирования параметров ТП. Таким образом, анализатор TDLS200 позволяет усовершенствовать ведение ТП и обеспечить безопасную работу предприятия, благодаря чему он быстро завоевал популярность в различных отраслях промышленности, таких как нефтяная, химическая, черная металлургия и теплоэнергетика.

Для измерения различных типов веществ используются свои полупроводниковые лазеры с конкретной длиной волны, соответствующей спектру поглощения целевого измеряемого компонента. Рассмотрим особенности измерения O₂ и CO в дымовых газах с помощью получения спектра поглощения в диапазоне 0,76 мкм и 2,3 мкм соответственно.

Измерение концентраций O₂ и CO в дымовом газе с помощью TDLS200

На рис. 4 показан пример использования анализатора TDLS200 для измерения концентрации O₂ и CO в печи для сжигания. Этот пример показывает параллельно выполняемые измерения концентрации O₂ и CO при постепенном уменьшении воздуха, подаваемого в топочную камеру.

В результате эксперимента были сделаны следующие выводы. Образование CO начинается примерно при концентрации O₂, равной 2%, и резко увеличивается при уменьшении концентрации до 1,5%, приводя в результате к неполному сгоранию газа. Для устранения эффекта неполного сгорания газа увеличива-

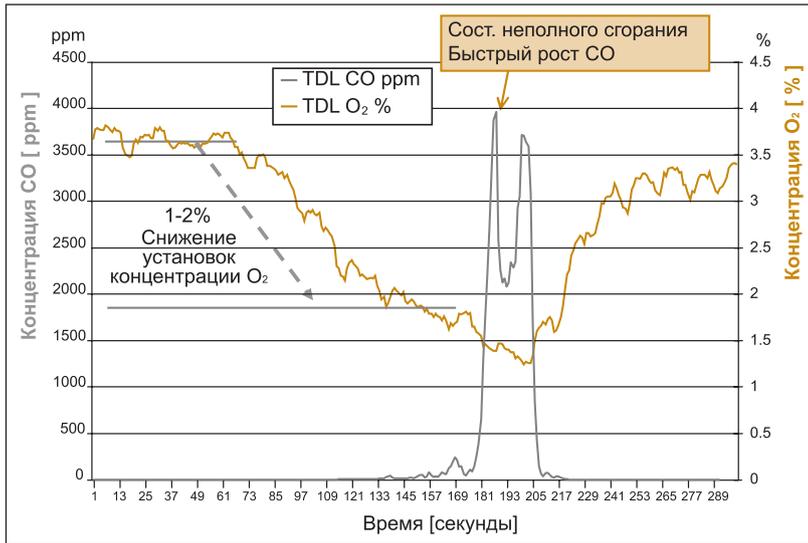


Рис. 4. Изменения концентрации O_2 и CO в печи для сжигания с низкой концентрацией кислорода

ется подача воздуха, после чего концентрация O_2 быстро растет, а концентрация CO снова падает, что приводит снова к полному сгоранию. Концентрация CO возрастает от 100 ppm до 4000 ppm практически за несколько минут.

Управление соотношением воздух-топливо с использованием концентраций CO и O_2

Согласно Лаймену Ф. Гилберту, концентрация CO в зоне горения с наибольшей тепловой эффективностью на единицу количества топлива составляет примерно 200 ppm независимо от типов топлива и устройств. Однако при уменьшении концентрации O_2 содержание CO быстро увеличивается (рис. 4). Таким образом, либо должен быть сохранен стабильный процесс горения с достаточной подачей воздуха, либо система управления должна контролировать концентрацию CO в РВ и поддерживать ее постоянной на относительно низком уровне.

Количество воздуха, подаваемого в топочную камеру, регулируется двумя способами: с помощью

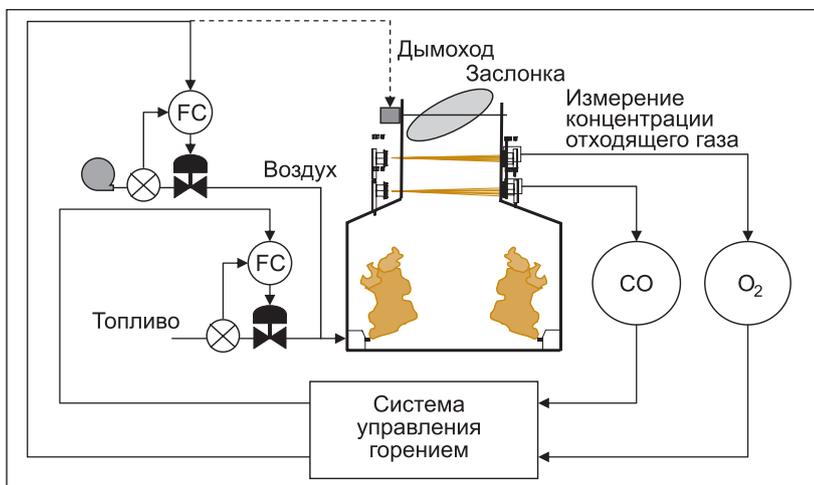


Рис. 5. Система регулирования CO и O_2 для печей сжигания

нагнетательного вентилятора (FDF) и заслонки (рис. 5) или используя всасывание наружного воздуха с помощью регулирования угла открытия заслонки вытяжного вентилятора (IDF). При этом на входе в дымоход измеряется содержание O_2 и CO . Измеренная концентрация CO может быть использована для управления процессом горения посредством двух способов: 1) с помощью контроля концентрации O_2 , когда его концентрация превышает заданное значение, и перехода на контроль CO , когда концентрация O_2 падает ниже этого значения; 2) путем установки смещения концентрации CO (компенсация) в концентрацию O_2 .

Оценка экономического эффекта при управлении соотношением воздух-топливо

Поскольку количество топлива, требующегося для получения определенного объема энергии, может быть сэкономлено с помощью уменьшения содержания O_2 в отходящем газе, то может быть оценен прямой экономический эффект, полученный от усовершенствования системы управления соотношением воздух-топливо. В качестве показателя экономического эффекта можно принять уменьшение затрат на топливо, которое достигается с помощью снижения излишнего O_2 при сохранении постоянной температуры печи. В таблице приведен пример теоретического расчета, исходя из снижения содержания кислорода на 0,5% в нагревательной печи установки для дистилляции нефти при нормальном давлении. Емкость установки составляет 100 тыс. баррелей нефти в сутки. Результат расчета показывает экономию топлива около 240 кл, что составляет 9,6 млн. йен в год, при цене 40 тыс. йен за 1 кл мазута.

Благодаря снижению количества расходуемого топлива также снижается количество выбросов CO_2 . Выброс углерода на 1 кл мазута составляет около 3 тонн, следовательно выброс CO_2 снижается на 720 тонн в год.

Система обеспечения безопасности на основе TDL200

Система управления топочной камерой (BMS) позволяет обеспечить безопасное управление топочной камерой нагревательной печи и имеет механизмы взаимных блокировок и аварийного останова для предотвращения взрыва. BMS должна соответствовать стандартам безопасности, базирующихся на оценке риска, таких как международный стандарт (ISO12100), а также стандарты ЕС (EN746), США (NFPA86) и Японии (JIS B9700).

Таблица 1. Пример расчета экономического эффекта от уменьшения кислорода

Элемент	Символ	Значение
Требования для мазута		
Теплотворность на единицу массы топлива (LHV: удельная теплота сгорания), ккал/кг	LHV	9800
Стоимость топлива на единицу топлива, кл/лд	P	40
Теоретическое количество отходящего газа/воздуха, Нм ³ /кг	G0/ A0	11,07/ 10,46
Требования для воздуха		
Концентрация кислорода в воздухе, %	Or	21
Удельная теплоемкость воздуха/отходящего газа ¹ , ккал/ Нм ³ /град	SH	0,33
Условия эксплуатации		
Температура отходящего газа, °С	Th	400
Температура окружающей среды, °С	Tl	20
Годовое количество расходуемого топлива, кл	V	60000
Излишняя концентрация кислорода, %	Ox	До 2,50 После 2,00
Процедура вычисления		
Соотношение воздух-отходящий газ: Or / (Or - Ox)	m	До 1,14 После 1,11
Фактический объем отходящего газа ² : G0 + (m - 1) * A0, Нм ³ /ч	G	До 12,48 После 12,17
Тепловые потери отходящего газа: G * SH * (Th - Tl), ккал/кг	L	До 1565,43 После 1526,25
Сниженные тепловые потери отходящего газа, ккал/кг	LD	39,18
Соотношение сниженных тепловых потерь отходящего газа: LD / LHV	q	0,004
Годовое количество сэкономленного топлива: q * V, кл/год	SV	239,89
Годовая стоимость сэкономленного топлива: q * V * P, кл/год	SC	9595,74

1. Предположительно константа, хотя может меняться в зависимости от температуры, концентрации CO₂, и т.д.
2. (m-1)A0 - объем воздуха, не используемого для горения.

Поскольку анализатор TDLS200 обеспечивает обнаружение монооксида углерода при неполном сгорании топлива и измерение его концентрации практически в режиме РВ, то он увеличивает надежность системы обеспечения безопасности путем передачи измеренной концентрации СО в BMS с целью использования данной информации для реализации заданных требований безопасности. Рис. 6 показывает типовую конфигурацию системы, в которой реализована передача измеренной концентрации СО в систему аварийного останова топочной камеры BMS. В качестве BMS может быть использована система противоаварийной защиты ProSafe-RS от компании Yokogawa.

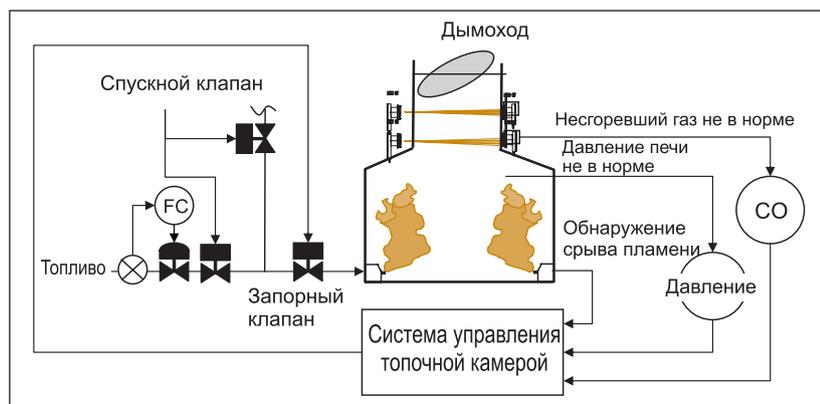


Рис. 6. Система обеспечения безопасности для нагревательной печи

Прочие факторы для оптимизации процесса горения

Распределение тепла внутри печи является неравномерным из-за формы печи для сжигания, состояния стенок, конструкции топочной камеры и дымохода. Помимо этого, условия управления зависят от изменений температуры окружающей среды и состава топлива. Таким образом, в дополнении к периодическому техническому обслуживанию топочной камеры и оптимизации системы управления процесса горения для печи в целом требуется сложная диагностика, включая профилактические меры, направленные на укрепление стенок во избежание попадания воздуха извне. Такие меры позволяют увеличить энергетическую эффективность, снизить выбросы CO₂ и повысить безопасность. Ниже приведены ключевые факторы, которые необходимо учесть.

- **Диагностика состояния стенок печи.** Стенки печи деформируются из-за значительной разницы между наружной и внутренней температурой. Обычно внутреннее давление в печи ниже, чем атмосферное снаружи, поэтому наружный воздух легко проникает в печь через маленькие щели в смотровом отверстии печи, стеновых швах или через отверстия для трубной обвязки. Такое проникновение воздуха может стать причиной неточных показаний концентрации кислорода в печи и, как следствие, тепловых потерь. Поэтому должны быть предприняты меры по предотвращению проникновения воздуха.

- **Автоматическое открытие/закрытие воздуховода с помощью заслонки.** Большинство традиционных печей для сжигания (особенно вне Японии) используют приточно-вытяжную систему наружного воздуха, поэтому необходимо заменить существующий воздуховод на систему автоматического открытия/закрытия для управления соотношением воздух-топливо. Дополнительно может быть использован нагнетательный вентилятор, чтобы значительно увеличить эффективность процесса горения.

- **Совершенствование и замена топочной камеры.** Для более эффективного процесса горения воздух и топливо должны быть равномерно перемешаны перед сжиганием. Современная топочная камера с пониженным уровнем NOx способствует равномерному распределению температуры внутри печи, улучшая этим тепловую эффективность и снижая NOx и SOx (оксиды серы).

- **Техническое обслуживание печи для сжигания.** Поскольку печь для сжигания всегда эксплуатируется в жестких условиях, то возникает риск коррозии и износ твердых сплавов, а также коррозия стенок печи, труб и топочной камеры. Поддержка нормальной работы печи для сжигания в целом с помощью периодического технического обслуживания сохраняет как стабильность эффективности процесса горения, так и безопасность.

Дальнейшие перспективы

Анализатор TDLS200 привлекает значительное внимание со стороны многих нефтехимических заводов, поскольку он требует незначительного технического обслуживания и может выполнять измерение концентраций O_2 и CO в печи практически в РВ. В США при поддержке Министерства энергетики (DOE) была доказана эффективность технологии TDL для оптимизации процесса горения в печи этилена компании Dow Chemical, также было изучено его применение в других печах для сжигания (http://www1.eere.energy.gov/industry/combustion/pdfs/advanced_diagnostics.pdf).

Для формирования хорошей репутации на рынке необходимо внедрение анализатора TDLS200 для измерения CO на работающих заводах. Также необходимо уменьшить габариты анализатора TDLS200 и упростить монтаж, чтобы обеспечить установку в печах для сжигания небольшого и среднего масштаба. Оптимизация процесса горения для

печей в целом требует не только интеграции процесса измерений CO_2 и O_2 в систему управления, но и использование экспертных знаний в сфере технологии диагностики печей для сжигания, топочных камер и энергосбережения.

Заключение

Технология для оптимизации эффективности процесса горения с помощью измерения концентраций O_2 и CO стала общепризнанной более 20 лет назад. Однако до настоящего времени отсутствовали подходящие средства прямого и точного измерения CO в печи в режиме РВ. Анализатор TDLS200 помог решить эту проблему, и он будет в значительной степени способствовать практическому применению этого метода.

Ожидается, что анализатор TDLS200 будет внедрен на множестве заводов и поможет создать устойчивое соотношение в области энергосбережения и уменьшения выбросов парниковых газов.

Иошитака Юкки — инженер подразделения полевого оборудования КИП, Акихиро Мурата — инженер подразделения аналитической продукции компании Yokogawa.

*Ответственный представитель в России: Поначевная Наталья.
Контактный телефон +7 (495) 737-78-68.
E-mail: Natalia.Ponachevnaya@ru.yokogawa.com
Http://www.yokogawa.ru*

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КАНАЛ ПОТОКОВОГО ХРОМАТОГРАФА ДЛЯ ГАЗОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СТАНЦИЙ

В.Л. Сельченков (ЗАО "Объединение БИНАР")

В измерительной системе (ИС) газоизмерительной станции (ГИС) требуется определять не столько состав газа, сколько вычисляемые на его основе значения физических свойств газа, такие как плотность, коэффициент сжимаемости и теплота сгорания, что существенно увеличивает число источников неопределенности измерений. В процессе проектирования ГИС выпускается раздел проекта "метрологическое обеспечение", где приводится анализ границ погрешностей средств измерений (СИ), применяемых на ГИС, и анализ возможных дополнительных погрешностей, которые могут появиться при включении СИ в информационно-измерительные каналы (ИИК).

Рассматриваются источники основных погрешностей и возможных дополнительных неопределенностей ИИК определения физико-химических параметров (ФХП) газа.

Ключевые слова: информационно-измерительные каналы, измерительная система, газоизмерительные станции, потоковый газовый хроматограф.

Введение

Современные потоковые газовые хроматографы могут работать в широком диапазоне температур и теоретически могут устанавливаться в неотапливаемых помещениях. В соответствии с методикой выполнения измерений (ГОСТ 31371.7-2008. «Газ природный. Определение состава методом газовой хроматографии с оценкой неопределенности») хроматограф должен проходить ежесуточную процедуру градуировки. У баллонов с градуировочной смесью диапазон рабочих температур обычно 17...25°C, что требует установки хроматографа в блок-боксах с системами климат-контроля [1], и подвода к нему пробоотборных трубок.

Места пробоотбора достаточно жестко регламентированы нормативной документацией. На ГИС доступны два варианта установки пробоотбора:

- на измерительном трубопроводе (ИТ) в непосредственной близости от блок-бокса;
- на выходном коллекторе.

При установке пробоотборного устройства на коллекторе длина пробоотборной трубки обычно превышает 30 м, что существенно усложняет выполнение требований, при которых дополнительную неопределенность, вносимую пробоотбором, можно не учитывать.

В соответствии с ГОСТ 8.586.5-2005. «Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью