

Российский лазерный гигрометр

В.Н. Бойков

генеральный директор¹

О.Б. Выскубенко

в.н.с.¹

vyskubenko@binar.ru

В.М. Карюк

директор²

karuk@binar.ru

И.В. Морозов

ведущий научный сотрудник²

morozov@binar.ru

¹ООО «Галан», Саров, Россия

²ООО «Объединение БИНАР», Саров, Россия

В статье описывается гигрометр, созданный с применением технологии лазерной спектроскопии для измерения влажности газов в промышленных условиях. В качестве источника света использован полупроводниковый лазер, излучающий на длине волны одной из линий поглощения молекул воды. В выбранном оптическом диапазоне отсутствуют линии поглощения углеводородных газов, это обеспечило высокую селективность определения водяного пара. Оптические чувствительные элементы гигрометра вынесены из зоны с исследуемым газом, что позволило их защитить от контактов с газом и не

Одним из основных физических параметров природного газа является его влажность. Все углеводородные газы в реальных условиях содержат водяной пар. Его допустимое количество при заданных температуре и давлении газа строго регламентировано. Точное и надежное знание влажности требуется на всех этапах работы с природным газом — от скважины до газоперерабатывающего завода, и существенно влияет на экономичность и эффективность применения газа.

Для инструментального определения содержания водяных паров в газе применяются гигрометры различных конструкций и работающих на различных физико-химических принципах. Широкое применение в газовой отрасли РФ нашли гигрометры с охлаждаемым зеркалом и сорбционные гигрометры.

Большинство приборов имеют общий недостаток, связанный с необходимостью контакта с измеряемой средой. Чувствительный элемент в этих приборах вносится в газовую среду и взаимодействует с ней. Со временем этот элемент портится под воздействием среды и теряет свои свойства. Особенно остро эта проблема стоит при измерениях в грязных и агрессивных средах и при высоких температурах. Возникает необходимость регулярных проверок и замены чувствительного элемента. Вторым недостатком является низкая селективность из-за чувствительности к другим компонентам газовой среды, при этом ошибка измерений может быть существенной. Пример: измерение влажности природного газа с помощью охлаждаемого зеркала, на которое может осаждаться не только водяной пар в чистом виде, но и водные растворы примесей, а также пленки других веществ, присутствующих в газе.

Применение технологии лазерной спектроскопии позволило обойти эти проблемы и создать гигрометр, не имеющий прямого контакта чувствительных элементов с измеряемой средой и достоверно измеряющий концентрацию паров воды в газовых

потоках с высокой селективностью и независимо от наличия примесей в составе газа. Суть метода, лежащего в основе лазерного гигрометра и описанного в патенте [1], состоит в следующем. Через исследуемый газовый объем пропускается оптическое излучение на определенной длине волны, которое поглощается только молекулами воды и одновременно не поглощается другими компонентами газовой смеси. По измеренной степени поглощения вычисляется концентрация водяного пара в газе и затем рассчитывается точка росы по воде.

Принцип работы лазерного гигрометра

В качестве источника света в лазерном гигрометре используется полупроводниковый лазер, излучающий на длине волны одной из линий поглощения водяных паров. Эта линия выбрана таким образом, чтобы на нее не накладывались спектральные линии других веществ, входящих в состав исследуемого газа. Это определяет высокую селективность лазерного гигрометра — в гигрометре регистрируется поглощение света только молекулами воды, независимо от состава газа-носителя. Чем больше концентрация молекул воды — тем больше доля поглощенного света. По отношению силы света на входе и на выходе рабочего объема определяется поглощение для излучаемой длины волны света и по известной интенсивности линии поглощения вычисляется объемная концентрация молекул воды. Прибор не требует калибровок, он непосредственно измеряет концентрацию молекул воды в рабочем объеме, используя только физические константы. Сопровождающие измерения давления и температуры газа в кювете позволяют получить значения влагосодержания в единицах ppm . Прямое измерение влажности в лазерном гигрометре производится в единицах ppm , затем проводится расчет значений влажности в других единицах — г/м^3 и градусах точки росы для рабочего и контрактного давлений. Эти значения являются результатом вычислений.

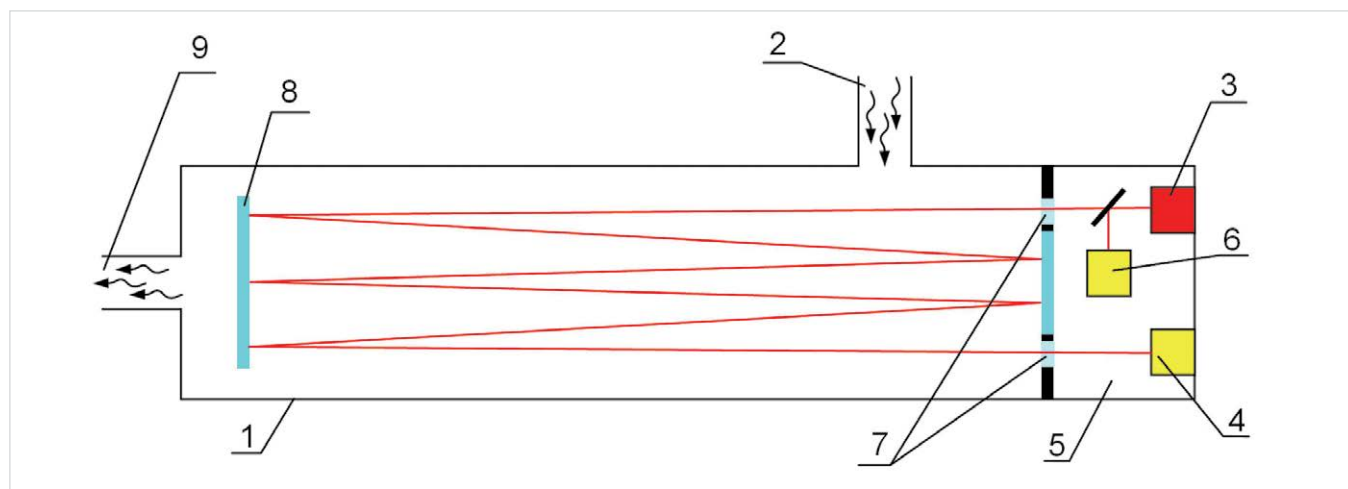


Рис. 1 — Оптическая схема измерения влажности газа

1 — герметичная кювета; 2 — газовый ввод; 3 — лазерный диод; 4 — приемный фотодиод; 5 — герметичный отсек; 6 — опорный фотодиод; 7 — кварцевые окна; 8 — зеркало; 9 — газовый вывод

допустить загрязнения излучателя и фотоприемников присутствующими в газе примесями. Приведена конструкция гигрометра, а также система отбора проб, характеристики гигрометра и результаты испытаний. Описываемый гигрометр предназначен для работы во взрывоопасных помещениях, что подтверждено сертификатом TP TC.

Ключевые слова

влажность, температура точки росы, природный газ, лазерная спектроскопия, измерительная система, гигрометр

В настоящее время в мире уже существуют газоанализаторы, работающие на принципе диодной лазерной спектроскопии. Появились они относительно недавно. В 2005 г. компания SpectraSensors (США) впервые опробовала лазерный анализатор влажности на газовом хранилище бассейна Виллистон (Williston Basin). В декабре 2008 г. компания GE Sensing (США) заявила о создании аналогичного прибора. Эти газоанализаторы обладают всеми преимуществами лазерной диагностики по сравнению с другими физическими принципами, но, в отличие от описываемого гигрометра ГЛ-02, требуют калибровки при различных составах исследуемого газа.

Устройство лазерного гигрометра ГЛ-02

На рис. 1 изображена оптическая схема измерения влажности газа в лазерном гигрометре. Основой конструкции гигрометра является герметичная кювета 1, которая наполняется через газовый ввод 2 исследуемым газом. Источник 3 и приемник 4 света размещены в изолированном отсеке этой кюветы 5. Интенсивность излучения на входе в кювету измеряется опорным фотодиодом 6. Излучение от полупроводникового лазера 3, сканирующего линию поглощения проходит сквозь кювету с исследуемым газом 1 через кварцевые окна 7. Сигнал с фотоприемников 4, 6 анализируется микропроцессором, который выделяет спектральную линию из шумов. Лазерный луч многократно проходит через исследуемый газ, отражаясь от зеркал 8, и попадает на выходной приемник света 4, с помощью которого происходит измерение выходной интенсивности света.

В процессе эксплуатации гигрометра оптические окна и зеркала могут загрязняться, что приведет к ослаблению общей

интенсивности лазерного излучения. До определенного предела это не повлияет на точность измерения прибора. Лазерный луч, прошедший сквозь исследуемый газ, несет информацию о том, какая доля излучения поглотилась в спектральной линии поглощения молекулами воды, и какая поглотилась вне этой линии, т. е. загрязненной оптикой. Если при этом ослабление света на грязных оптических элементах превысит определенный уровень, начиная с которого заявленная погрешность измерений не обеспечивается, то на дисплее прибора высветится соответствующее предупреждение. При этом прибор будет продолжать измерять влажность газа, но заявленные метрологические характеристики не будут гарантированы.

В гигрометре ГЛ-02 применены специальные алгоритмы выделения спектральных линий и вычисления их параметров, позволяющие минимизировать влияние шумов, температуры и давления газа в кювете.

Электронный блок гигрометра обеспечивает управление излучающим лазерным диодом, регистрацию сигналов от опорного и выходного фотодиодов. В этом же блоке проводится расчет влажности газа в единицах ppm, и пересчет в другие единицы влажности — г/м³ и градусы точки росы для выбранных давлений. Дисплей электронного блока обеспечивает цифровую индикацию результатов измерений. В электронном блоке реализованы два аналоговых выхода (4–20 мА) и цифровой порт RS-485 с протоколом Modbus. Программное обеспечение предоставляет возможность удаленного чтения данных и управления настройками прибора.

Конструкция лазерного гигрометра ГЛ-02

На рис. 2 приведено фото внутреннего устройства гигрометра.



Рис. 2 — Фото внутреннего устройства гигрометра ГЛ-02

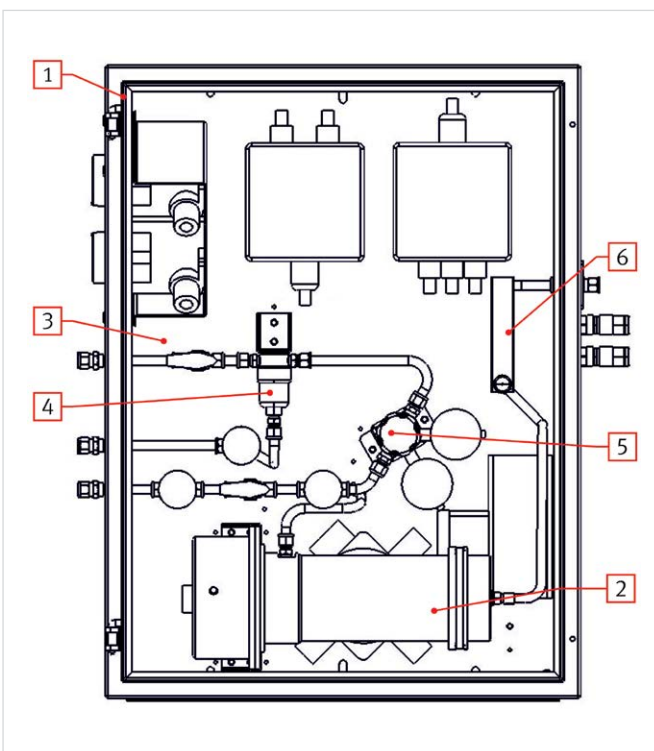


Рис. 3 — Расположение узлов и элементов гигрометра в обогреваемом шкафу
1 — шкаф обогреваемый; 2 — герметичная кювета; 3 — система отбора проб; 4 — фильтр; 5 — редуктор; 6 — расходомер

В состав гигрометра входят следующие узлы и агрегаты (рис. 3):

- шкаф обогреваемый 1, предназначенный для размещения агрегатов гигрометра и поддержания требуемой температуры;
- герметичная кювета 2, предназначенная для формирования рабочего объема газа, через который пропускается лазерное излучение.
- система отбора проб 3;
- электронный блок (на рис. 3 не показан), предназначен для управления оптоэлектронными устройствами и сбора с них информации, для обработки полученных данных, вычисления влажности и выдачу данных на дисплей и на внешние устройства.

Доступ к функциям гигрометра, изменение его параметров и режимов работы, а также индикация режимов работы и результатов измерений производится с помощью органов управления, расположенных на передней дверце шкафа

При включении питания гигрометра запускается процесс самодиагностики прибора, затем прибор переходит в основной режим работы — измерение и вывод результатов на индикатор. По окончании измерения на дисплей выводится результат. Гигрометр записывает результаты измерений и другие параметры во внутренний архив.

Гигрометр поставляется с интегрированной системой отбора проб 3 (рис. 3), предназначенной для обеспечения рабочего давления в оптической кювете 2, очистки газового потока от загрязнений и регулирования расхода газа через оптическую кювету. Система включает фильтр отделения конденсированных фракций 4, редуктор понижающий давление до требуемых величин 5, индикатор расхода (ротаметр) 6, а также электрический нагреватель-термостат внутреннего объема прибора. Все детали пробоотбора изготовлены из нержавеющей стали и размещены в обогреваемом шкафу 1.

Характеристики лазерного гигрометра ГЛ-02. эксплуатационные ограничения

Лазерный гигрометр измеряет концентрацию молекул воды, находящихся только в газовой фазе. В потоке, содержащем водяной аэрозоль, концентрация молекул воды в газовой фазе максимальна и соответствует давлению насыщенных паров воды при температуре газа. Именно это значение и покажет гигрометр, хотя полное содержание влаги в потоке будет значительно больше.

Метрологические испытания

Прибор прошел испытания во ФГУП ВНИИМС и показал совпадение с эталоном точки росы первого разряда $\pm 1^\circ\text{C}$ точки росы в диапазоне от -50°C до 20°C и совпадение $\pm 2^\circ\text{C}$ точки росы в диапазоне от -50°C до -60°C

Опытно-промышленные испытания

С 15 по 27 июля 2015 г. проведены опытно-промышленные испытания гигрометра ГЛ-02 на котлоагрегате 9 в котельном цехе АО «Саровская генерирующая компания» г. Саров Нижегородской обл. График архива данных гигрометра, записанного во время проведения опытно-промышленных испытаний, приведен на рис. 4.

Полученные значения влажности газа хорошо коррелируют с данными, приведенными

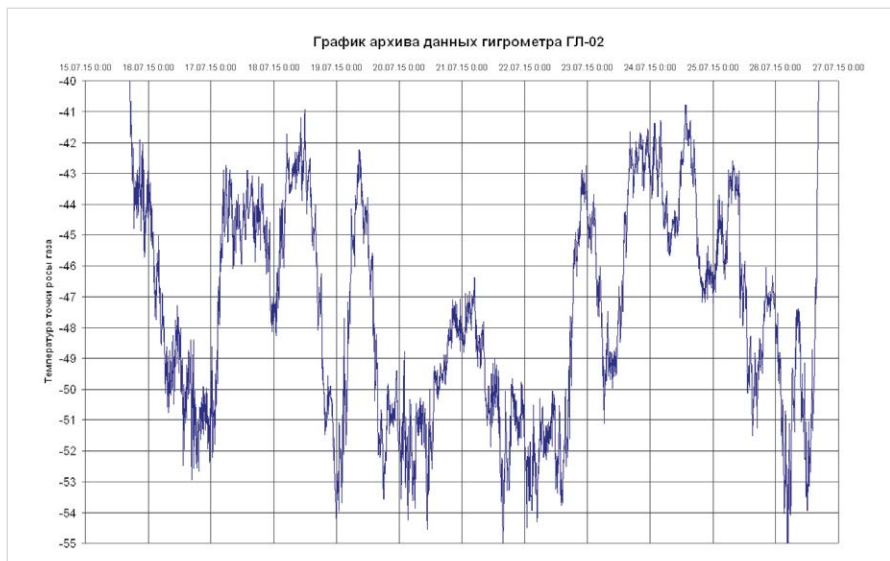


Рис. 4 — График архива данных гигрометра, записанного во время проведения опытно-промышленных испытаний



Рис. 5 — Эксплуатационные испытания лазерного гигрометра ГЛ-02

в паспорте на поставляемый газ. В период опытно-промышленной эксплуатации лазерный гигрометр ГЛ-02 работал стабильно, нештатных ситуаций не зафиксировано.

В 2016 г. завершены опытно-промышленные испытания гигрометра ГЛ-02 на объектах ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород» (рис. 5). Испытания проводились по программе-методике испытаний, утвержденной профильным Департаментом ПАО «Газпром».

В заключение необходимо сделать следующие выводы. Разработан промышленный гигрометр для работы во взрывоопасных помещениях. Применение технологии лазерной спектроскопии в сочетании с цифровыми методами обработки сигналов позволило создать прибор с требуемой точностью измерения, обладающий высокой селективностью к парам воды. Использование прибора, работающего на принципиально ином физическом принципе совместно с приборами,

традиционно применяемыми в газовой отрасли, позволит получать достоверную информацию о содержании влаги в природном газе вне зависимости от его состава.

Список литературы

1. Карюк В. М., Вискубенко О.Б. Патент РФ №90904. Устройство для измерения содержания водяного пара в природном газе. Заявл. 05.03.2009. Опул. 20.01.2010

ГАЗАН

607188, Нижегородская обл., г. Саров,
Южное шоссе, д. 12, стр. 15А
+7 (83130) 7-53-62, 7-53-53
boikov@binar.ru
www.binar.ru