

ISSN 0016-5581

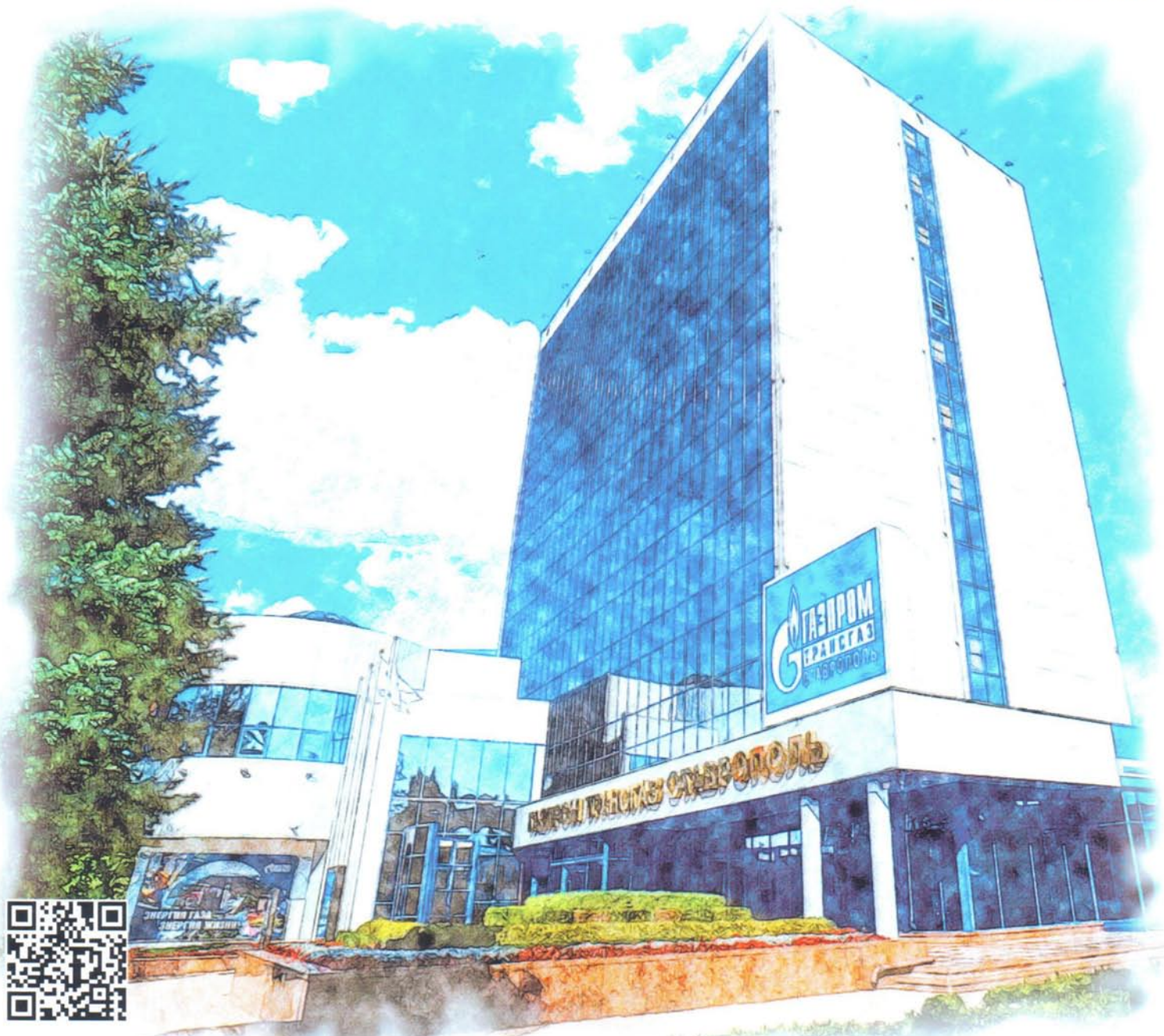
# ГАЗОВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

739 2016  
СПЕЦВЫПУСК



ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С 1956 г.

ООО «ГАЗПРОМ ТРАНСГАЗ СТАВРОПОЛЬ»:  
КУРС НА ПЕРСПЕКТИВУ С. 10



ВХОДИТ В ПЕРЕЧЕНЬ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИЗДАНИЙ, РЕКОМЕНДОВАННЫХ ВАК ДЛЯ ПУБЛИКАЦИЙ ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИЙ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ДОКТОРА И КАНДИДАТА НАУК



УДК 543.275.1

# РОССИЙСКИЙ ЛАЗЕРНЫЙ ГИГРОМЕТР

**В.Н. Бойков, О.Б. Выскубенко** (ООО «Галан», РФ, Саров), **В.М. Карюк, И.В. Морозов** (ООО «Объединение БИНАР», РФ, Саров)

E-mail: karuk@binar.ru

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

Ключевые слова: влажность, температура точки росы, природный газ, лазерная спектроскопия, измерительная система, гигрометр.

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, работающие 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

## Advanced domestic laser hygrometer

**Boikov V.N., Vyskubenko O.B.** (ООО Galan, RF, Sarov), **Karyuk V.M., Morozov I.V.** (ООО Ob'edineniye BINAR, RF, Sarov)

E-mail: karuk@binar.ru

This paper describes a new hygrometer built around a laser-based spectroscopy technology to produce gas moisture data in hazardous industrial plant environments. Semiconductor laser is used as a light source generating a water molecule absorption line wave-length. Within a chosen optical wave range, no absorption lines for hydrocarbon gases are present, which ensures higher water vapour selectivity. Hygrometer's optical sensors are kept away from a zone with gas under study, which enables adequate physical protection from target gas and avoids transmitter and optical sensor contamination by gas components. The authors highlight hygrometer design, its sampling system, technical characteristics, and test summary. The described hygrometer is intended for explosion hazard space and has been certified to comply with TR TS technical regulations.

Keywords: moisture, dewpoint, natural gas, laser spectroscopy, measurement system, hygrometer.

метода, лежащего в основе лазерного гигрометра и описанного в Патенте РФ №90904<sup>1</sup>, 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

<sup>1</sup> Карюк В. М., Выскубенко О.Б. Устройство для измерения содержания водяного пара в природном газе // Патент РФ № 90904.



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 ррт. Прямое измерение влажности в лазерном гигрометре производится в ррт, затем проводится расчет значений влажности в других единицах – г/м<sup>3</sup> и градусах точки росы для рабочего и контрактного давлений. Эти значения являются результатом вычислений.

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 (7) которая наполняется через газовый ввод (1) исследуемым газом. Источник (2) и приемник (4) света размещены в изолированном отсеке этой кюветы (5). Интенсивность излучения на входе в кювету измеряется опорным фотодиодом (3). Излучение от полупроводникового лазера (2), сканирующую линию поглощения, проходит сквозь кювету с исследуемым газом (7) через кварцевые окна (6). Сигнал с фотоприемников (3, 4)

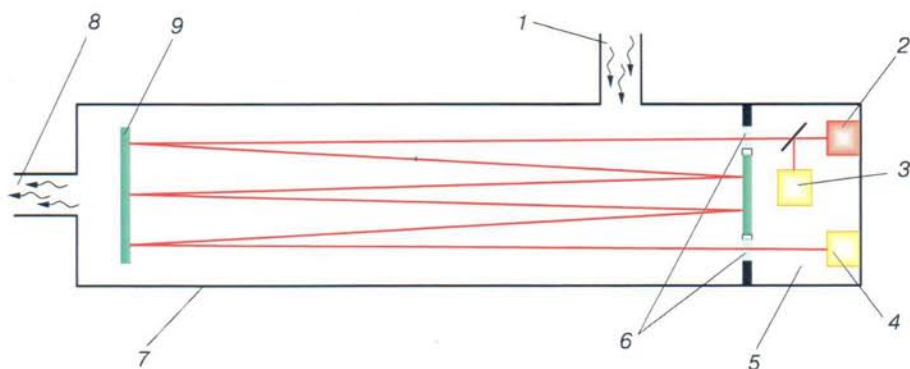


Рис. 1. Оптическая схема измерения влажности газа:

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

анализируется микропроцессором, который выделяет спектральную линию из шумов. Лазерный луч многократно проходит через исследуемый газ, отражаясь от зеркал (9), 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 проводятся расчет влажности газа в единицах ррт и перерасчет в другие единицы влажности – г/м<sup>3</sup> 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

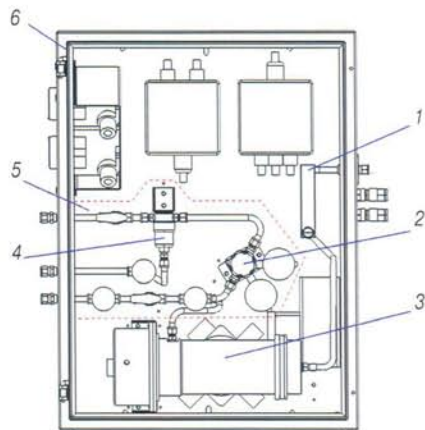
На рис. 2 приведено фото внутреннего устройства гигрометра.

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

- шкаф обогреваемый (6), предназначенный для размещения агрегатов гигрометра и поддержания требуемой температуры;



Рис. 2. Фото внутреннего устройства гигрометра ГЛ-02



**Рис. 3. Расположение узлов и элементов гигрометра в обогреваемом шкафу:**

1 – расходомер; 2 – редуктор; 3 – герметичная кювета; 4 – фильтр; 5 – система отбора проб; 6 – шкаф обогреваемый

- герметичная кювета (3), предназначенная для формирования рабочего объема газа, через который пропускается лазерное излучение;

- система отбора проб (5);

- электронный блок (на рис. 3 не показан), предназначен для управления опико-электронными 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 (5) (см. рис. 3), предназначенной для обеспечения рабочего давления в оптической кювете (3), 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 (2), индикатор расхода (ротаметр) (1), а также электрический нагреватель-термостат внутреннего объема прибора.

Все детали пробоотбора изготовлены из нержавеющей стали и размещены в обогреваемом шкафу (6).

### ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАЗЕРНОГО ГИГРОМЕТРА ГЛ-02. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ

**Л**азерный гигрометр измеряет концентрацию молекул воды, находящихся только в газовой фазе. В потоке, содержащем водяную 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.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

#### 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  $-50$  до  $20^\circ\text{C}$  и совпадение  $\pm 2^\circ\text{C}$  точки росы в диапазоне от  $-50$  до  $-60^\circ\text{C}$

#### Опытно-промышленные испытания

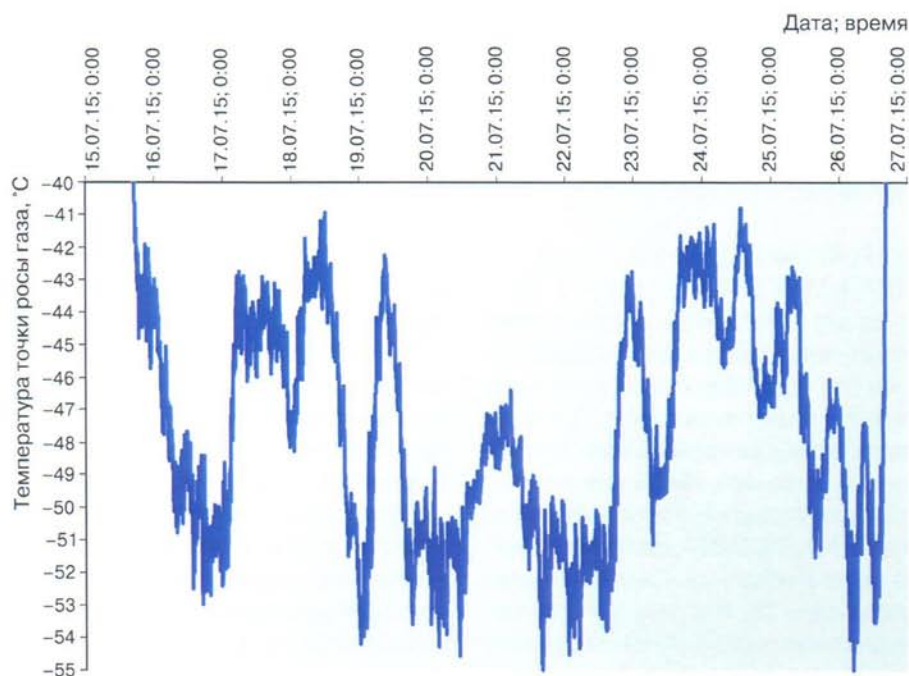
С 15 по 27 июля 2015 г. проведены опытно-промышленные испытания гигрометра ГЛ-02 на котлоагрегате 9 в котельном цехе

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

В настоящее время образцы гигрометра ГЛ-02 проходят опытно-промышленную эксплуатацию на объектах «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 другом 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.



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