

АКТУАЛЬНОСТЬ И ПРОБЛЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ КОНДЕНСАЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПРИРОДНОМ ГАЗЕ

УДК 533.275.08

Г.А. Деревягин, ООО «НПО «Вымпел» (Дедовск, Московская обл., РФ)

А.М. Деревягин, ООО «НПО «Вымпел»

С.В. Селезнев, ООО «НПО «Вымпел»

В последнее время вопросы контроля качества газа по температуре конденсации углеводородов (ТКУ) приобретают все бóльшую актуальность, что обусловлено внесением импортерами российского газа параметра ТКУ в контракты на поставку и ужесточением требований по ТКУ. При общепринятом подходе к построению схемы измерения ТКУ конденсационные гигрометры различных производителей имеют ряд принципиальных отличий в оптической схеме регистрации конденсата, способах обработки полученных результатов и конструктивном исполнении охлаждаемого зеркала.

Сравнительные испытания на магистральном газе большого числа типов средств измерений ТКУ от различных производителей, представленных в России, показали значительное, до 15 °С, расхождение показаний. В то же время все типы средств измерений одинаково успешно проходят принятую в России методику калибровки по пропану.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ПРИРОДНЫЙ ГАЗ, ПОДГОТОВКА К ТРАНСПОРТУ ГАЗА, ТОЧКА РОСЫ, ТЕМПЕРАТУРА КОНДЕНСАЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ТОЧКИ РОСЫ, АВТОМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗАТОР ТОЧКИ РОСЫ, АНАЛИЗАТОР ВЛАЖНОСТИ, ОПТИЧЕСКАЯ СХЕМА РЕГИСТРАЦИИ КОНДЕНСАЦИОННОГО ГИГРОМЕТРА, ВИЗУАЛЬНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ТОЧКИ РОСЫ, СИСТЕМА ПОДГОТОВКИ ГАЗА.

К числу факторов, определяющих актуальность измерения ТКУ, относятся:

- контрактные обязательства – стоимость природного газа, продаваемого на энергетических рынках, определяется, помимо всего прочего, ТКУ;
- технические проблемы, которые могут возникнуть при появлении в газе капель жидких углеводородов. Наличие в газе углеводородной аэрозоли может привести к сбою в работе контрольно-измерительной аппаратуры;
- контроль за работой технологического оборудования, обеспечивающего извлечение из газа тяжелых углеводородов при подготовке газа к транспорту;
- однофазность состояния газового потока;
- необходимость контроля ТКУ при подаче газа на газотурбинные



Рис. 1. Фазовая диаграмма природного газа с парами воды (синяя линия) и тяжелых углеводородов (красная линия)

установки, что позволяет снизить уровень оксида азота и предотвратить условия образования обратной вспышки.

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ТКУ

На рис. 1 представлены фазовые диаграммы воды и углеводородов в зависимости от давления и

Derevyagin G.A., Research and Production Association «Vympel», LLC (Dedovsk, Moscow Oblast, RF)

Derevyagin A.M., Research and Production Association «Vympel», LLC

Seleznev S.V., Research and Production Association «Vympel», LLC

Topicality and problems of measuring the hydrocarbon condensation temperature in natural gas

The problems of controlling the quality of gas by its hydrocarbon condensation temperature (HCT) have recently been more and more topical which is due to the fact the importers of Russian gas have introduced an HCT parameter into delivery agreements and that HCT requirements have been toughened.

When using the widely accepted approach to drawing a HCT measuring diagram, condensation hygrometers produced by different manufacturers have a number of fundamental differences in the optical condensate registration circuit, the means of processing the obtained results and the design of the cooled mirror.

Comparative tests of main gas performed with the use of a large number of HCT measuring devices produced by different manufacturers of Russia, showed a significant divergence of figures, up to 15 °C. At the same time, all types of measuring devices successfully pass the propane calibration method adopted in Russia.

KEY WORDS: NATURAL GAS, GAS TRANSPORT PREPARATION, DEW POINT, HYDROCARBON CONDENSATION TEMPERATURE, DEW POINT TRANSDUCER, AUTOMATED DEW POINT ANALYZER, HUMIDITY ANALYZER, OPTICAL HYDROMETER CONDENSATION REGISTRATION CIRCUIT, VISUAL METHOD OF MEASURING THE DEW POINT TEMPERATURE, GAS PREPARATION SYSTEM.

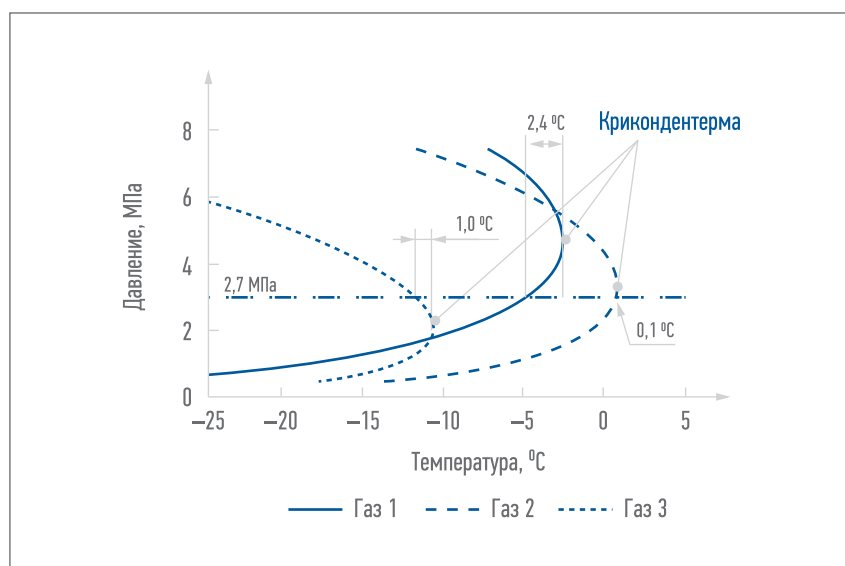


Рис. 2. Фазовые диаграммы тяжелых углеводородов в природном газе с различным компонентным составом

температуры. Различия очевидны. Следует отметить, что основное требование, соблюдаемое при транспорте газа, – однофазное состояние газового потока. В соответствии с этим измерение ТКУ при рабочем давлении в трубопроводе (5,0–8,0 МПа) не будет в полной мере удовлетворять требованию контроля однофазности газового потока, поскольку ТКУ, как видно из диаграммы, имеет максимальное значение при давлениях в 2,0–4,0 МПа.

В зависимости от компонентного состава газа давление крикондентермы, максимальной температуры, при которой может появиться конденсат (при любом давлении), фазовое состояние тяжелых углеводородов может меняться (рис. 2).

Исследования, проведенные на разных природных газах с различным компонентным составом, однозначно свидетельствуют о том, что измерения ТКУ при давлении 2,7 МПа имеют наименьшую по-

грешность во всех практически возможных случаях. Именно поэтому ТКУ рекомендовано измерять при давлении 2,7 МПа.

ИЗМЕРЕНИЕ ТКУ КОНДЕНСАЦИОННЫМИ ГИГРОМЕТРАМИ

Автоматический конденсационный метод позволяет производить непрерывные прямые измерения ТКУ, что определяет широкое распространение данного метода и показывает его эффективность и достоверность.

В общем случае измерение температуры точки росы сводится к выполнению следующих операций:

- понижению температуры конденсационного зеркала;
- фиксации момента появления конденсата на поверхности охлаждаемого зеркала (преимущественно оптическим методом);
- измерению температуры поверхности зеркала в момент фиксации конденсата.

Рассмотрим ряд гигрометров, получивших наибольшее распространение не только в РФ, но и за рубежом.

Одними из таких приборов являются гигрометры Ametek model 241CE II (рис. 3) производства AMETEK Process Instruments

Division (США). В этих гигрометрах в оптической системе регистрации конденсата в качестве источника света используется светодиод, а охлаждаемое зеркало изготовлено из металла с травленной поверхностью. Данная конструкция позволяет при осаждении на поверхность пленки углеводородов направить световой поток непосредственно на детектор. Кроме того, для повышения чувствительности полученная кривая фотосигнала конденсации проходит дополнительную математическую обработку в целях уточнения температуры начала конденсации.

У гигрометров Condumax II (рис. 4) производства Michell Instruments (Великобритания) к травленной металлической поверхности добавился конус, что позволило повысить чувствительность оптической системы регистрации. Далее фотосигнал кривой конденсации также проходит математическую обработку для уточнения температуры начала конденсации.

Оптическая система регистрации в гигрометрах ООО «НПО «Вымпел» (Россия) серии «КОНГ-Прима» и Hygrovision (рис. 5) построена на эффекте полного преломления [1]. Полное преломление – эффект, проявляющийся при падении продольных плоско-поляризованных волн на границу раздела разнородных сред и заключающийся в отсутствии отраженной волны. Эффект возможно наблюдать только в случае падения потока вертикально поляризованной волны на границу раздела сред под определенным углом, называемым углом Брюстера.

В качестве источника света использован лазерный источник излучения, в качестве материала зеркала выбран диэлектрик (кремний). Благодаря этому при конденсации тонких пленок углеводородов возникает интерференционный эффект, обусловленный появлением двух световых волн, отраженных от поверхно-



Рис. 3. Оптическая схема регистрации слоя углеводородного конденсата на охлаждаемом зеркале в гигрометре Ametek model 241CE II

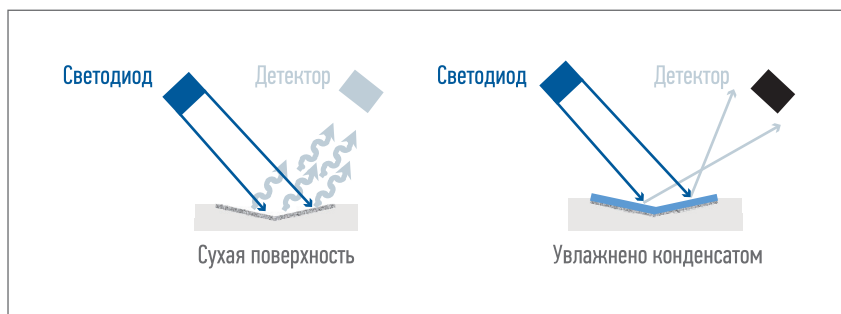


Рис. 4. Оптическая схема регистрации слоя конденсата на охлаждаемом зеркале в гигрометре Condumax II

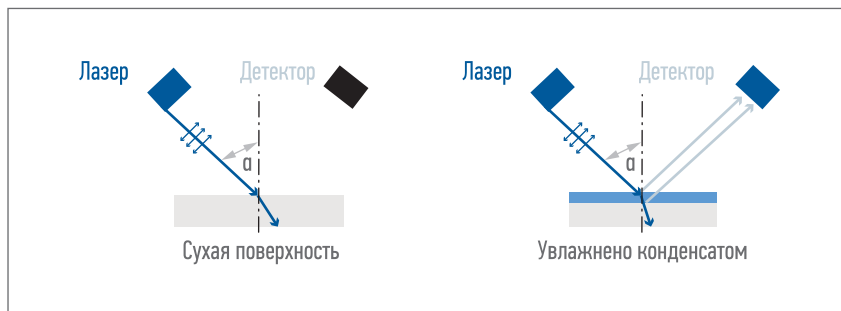


Рис. 5. Оптическая система регистрации преобразователя серии «КОНГ-Прима» и анализатора Hygrovision, где α – угол Брюстера

стей «газ – пленка» углеводородов и «пленка углеводородов – поверхность зеркала», из-за нарушения угла Брюстера.

Такая оптическая система регистрации позволяет измерять толщину пленки углеводородного конденсата с высокой точностью. Чувствительность оптической схемы регистрации определяется длиной волны выбранного лазера ($\lambda = 680$ нм) и на практике составляет 10–15 нм.

Проведенные сравнительные исследования описанных оптических систем регистрации гигрометров перечисленных про-

изводителей с гравиметрическим методом показали, что гигрометры имеют различную чувствительность к сконденсированным пленкам углеводородов. Испытания проводились по программе Европейской группы GERG (Европейское объединение по проведению практически значимых для газовой промышленности научных проектов и исследований) и показали, что наибольшую чувствительность к конденсации пленок углеводородов имеет оптическая система, реализующая интерференционный метод регистрации.

Дальнейшие испытания гигрометров по программе GERG PC1/Project 1.64/Phase I с различными оптическими системами регистрации на «тощих» и «жирных» газах показали значительное (до 15 °С) расхождение показаний.

МЕТОДИКА КАЛИБРОВКИ КОНДЕНСАЦИОННЫХ ГИГРОМЕТРОВ ПО ПРОПАНУ

На сегодняшний день Государственная поверочная схема для средств измерений температуры конденсации углеводородных газов (СИ ТКУ) в РФ отсутствует. Поэтому используется поверочная схема с применением методики, основанной на табличных данных зависимости температуры конденсации пропана от его давления.

Суть методики состоит в следующем. На гигрометр подается пропан с известным давлением. Давление выставляется по высокоточному манометру в соответствии с таблицей термодинамических свойств пропана [2] с указанием давления пропана и температуры, при которой пропан из газообразного состояния переходит в жидкое, т. е. фактически температуры конденсации пропана. Выставляя различные значения давления, получаем необходимые температуры конденсации пропана для ка-

Температура конденсации декана, октана и гептана

Температура конденсации, °С	Декан C ₁₀ H ₂₂ , мг/м ³	Октан C ₈ H ₁₈ , мг/м ³	Гептан C ₇ H ₁₆ , мг/м ³
5,0	240	2007	5781
0,0	168	1491	4432
-5,0	115	1095	3362
-10,0	78	794	2522
-20,0	34	400	1367

либровки и поверки в заданном диапазоне.

Однако калибровка или поверка конденсационных гигрометров по пропану практически нивелирует разницу в чувствительности оптических схем регистрации пленки конденсата, используемых в гигрометрах, и не позволяет объективно оценить их метрологические характеристики.

Рассмотрим следующий пример. При 0 °С пропан конденсируется при содержании паров 10 340 г/м³, а октан – при – 1,491 г/м³. Очевидно, что при температуре конденсации 0 °С на охлаждаемое зеркало гигрометра пропана выпадает почти в 7000 раз больше, чем паров октана при той же температуре конденсации. Это означает, что практически любая оптическая система регистрации, применяемая в гигрометрах, зафиксирует момент выпадения конденсата (паров пропана) на

охлаждаемое зеркало. Однако в добываемом природном газе пропан в практически значимых диапазонах температур от 10 до –30 °С конденсируется крайне редко (исключение составляют попутные газы с низким содержанием метана). Как правило, из газа в диапазоне температур от 10 до –20 °С на охлаждаемое зеркало конденсируются высшие углеводороды – деканы, октаны, гептаны с гораздо меньшей концентрацией. При этом и они конденсируются при различных концентрациях в газе.

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ КОНДЕНСАЦИИ

На рис. 6 представлен график содержания высших углеводородов в газе. В таблице приведены температуры конденсации декана, октана и гептана.

Из рис. 6 видно, что декан способен конденсироваться при самых незначительных концентрациях, тогда как гептан – при концентрациях, превышающих концентрации декана более чем в 20 раз. Соответственно, чтобы зафиксировать конденсацию декана, оптическая система гигрометра должна иметь максимально высокую чувствительность к распознаванию конденсата на зеркале гигрометра.

Природный газ разных месторождений имеет различный компонентный состав, и предугадать, какие углеводороды будут конденсироваться из газа, практически невозможно. При этом за-

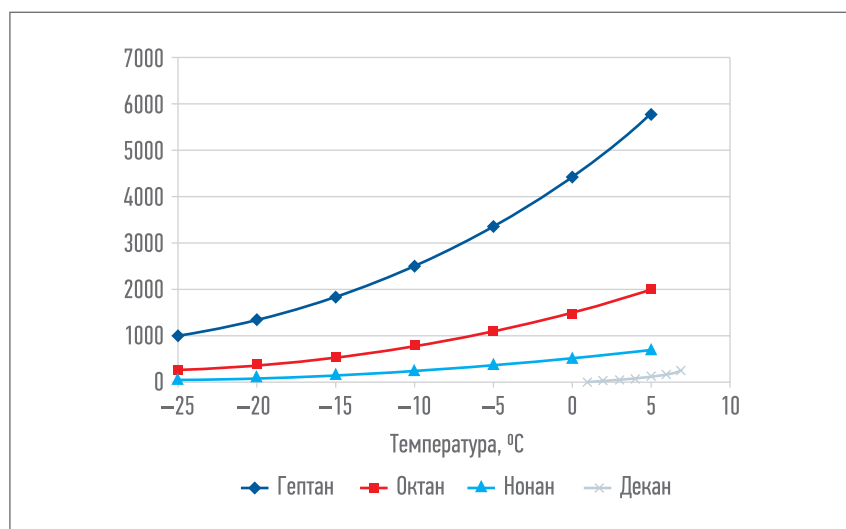


Рис. 6. Содержание высших углеводородов в газе, мг/м³



Рис. 7. Вторичный эталон точки росы «Вымпел-ЭД-300»

водская калибровка по пропану при измерениях ТКУ на реальных газах гигрометрами различных производителей приводит к недопустимо большой разнице.

СОСТОЯНИЕ ЭТАЛОННОЙ БАЗЫ ПО ПАРАМЕТРУ ТКУ В РОССИИ

Из изложенного следует, что гигрометры для газовой промышленности должны калиброваться и проходить поверку на смеси высших углеводородов «гексан – декан». При этом газом-носителем может быть азот или воздух, что позволит объективно оценить чувствительность оптической схемы конденсационного гигрометра и повысить достоверность проводимых измерений ТКУ. Для этого разработан и активно ис-

пользуется калибровочный блок для воспроизведения ТКУ на высших углеводородах (гексан – декан) в диапазоне от 30 до $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ и давлении до 10 МПа [3]. Этот блок входит в состав вторичного эталона точки росы «Вымпел-ЭД 300» (рис. 7), основанного на методе фазового равновесия. По причине отсутствия первичного государственного эталона ТКУ данный блок не входит в систему Госрегулирования.

В настоящее время проводятся работы по совершенствованию государственного первичного эталона единиц влажности газов Государственного первичного эталона (ГЭТ) 151-2014 в целях обеспечения единства измерений температур точки росы и конден-

сации углеводородных газов при давлениях до 30 МПа.

В рамках этой деятельности начаты разработка и изготовление эталонных генераторов, позволяющих насыщать рабочий газ не только влагой, но и парами углеводородов.

Создание высшего звена государственной поверочной схемы для средств измерений температуры конденсации углеводородных газов на базе ГЭТ 151-2014 обеспечит единство измерений в этой области в соответствии с международными требованиями и позволит решить актуальные задачи метрологического обеспечения средств измерений температуры конденсации углеводородных газов.

В конструкции разрабатываемых эталонных генераторов ГЭТ 151 использованы теоретические и практические наработки ООО «НПО «Вымпел» в области измерения ТКУ.

Таким образом, на сегодняшний день в части измерения ТКУ остаются не решенными следующие проблемы:

- методика калибровки по пропану не определяет в полной мере чувствительность оптической системы регистрации калибруемого гигрометра;
- калибровка по смеси актуальных для газовой промышленности углеводородов в России невозможна из-за отсутствия эталонных средств воспроизведения и отсутствия нормативной базы. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Seleznev S.V., Derevyagin A.M., Stolyar N.F., et al. High-Precision Laser-Interference Method of Moisture and Hydrocarbons Dew Points Measurement of Natural Gas IGRC. Paris, 2008.
2. Carl C. Yaws, Physical & Thermodynamic Properties – Part 24: Correlation Constants for Chemical Compounds. Chemical Engineering, November 22, 1976. P. 153–162.
3. Деревягин А.М., Степанов А.Р., Селезнев С.В. и др. Экспериментальный стенд для исследования точности измерений точек росы природного газа по водной фазе и тяжелым углеводородам // Газификация. Природный газ в качестве моторного топлива. Подготовка, переработка и использование газа. 2004. № 1. С. 14–24; 86–87.

REFERENCES

1. Seleznev S.V., Derevyagin A.M., Stolyar N.F., et al. High-Precision Laser-Interference Method of Moisture and Hydrocarbons Dew Points Measurement of Natural Gas IGRC. Paris, 2008.
2. Carl C. Yaws, Physical & Thermodynamic Properties – Part 24: Correlation Constants for Chemical Compounds. Chemical Engineering, November 22, 1976. P. 153–162.
3. Derevyagin A.M., Stepanov A.R., Seleznev S.V., et al. Experimental Bench for Testing the Accuracy of Measurements of the Dew Point of Natural Gas by Aqueous Phase and Heavy Hydrocarbons. Gazifikatsiya. Prirodnyi gaz v kachestve motornogo topliva. Podgotovka, pererabotka i ispol'zovanie gaza = Gasification. Natural Gas as Motor Fuel. Gas Preparation, Refining and Use, 2004, No. 1, P. 14–24; 86–87. (In Russian)