

2/сч

245

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ГАЗПРОМ»  
Информационно-рекламный центр газовой промышленности  
(ООО «ИРЦ Газпром»)

**ГАЗИФИКАЦИЯ. ПРИРОДНЫЙ ГАЗ В КАЧЕСТВЕ  
МОТОРНОГО ТОПЛИВА. ПОДГОТОВКА, ПЕРЕРАБОТКА  
И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗА**

**Научно-технический сборник**

**№ 1**

250 2004

Москва 2004

УДК 665.632.074.5.012.5

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ТОЧЕК РОСЫ ПРИРОДНОГО ГАЗА  
ПО ВОДНОЙ ФАЗЕ И ТЯЖЕЛЫМ УГЛЕВОДОРОДАМ*****Деревягин А.М., Степанов А.Р., Селезнев С.В., Агальцов А.Г.,  
Михайлов Ю.В. (НПФ "Вымпел", г. Саратов)***

В настоящее время метрологическая аттестация всех приборов для измерения влажности газов производится на образцовом оборудовании, которое моделирует заданную влажность при атмосферном давлении парогазовой смеси. В качестве рабочего газа в нем применяются: азот по ГОСТ 9293-74, аргон по ГОСТ 10157-79, гелий по ТУ 51-940-80, воздух по ГОСТ 17433-80 и другие чистые нейтральные и инертные газы. Используемые же в газовой промышленности гигрометры предназначены для измерения точки росы природного газа при рабочем давлении в трубопроводе. Кроме того, наряду с контролем влажности в природном газе необходимо определять температуру конденсации тяжелых углеводородов и оценивать влияние на рассматриваемые параметры технологических примесей, содержащихся в газе.

Актуальность определения температур точек росы газа по воде и углеводородам обусловлена тем, что, зная этот показатель, можно определить те термобарические условия, при которых из газа начинает выделяться конденсированная фаза. Присутствие жидкой фазы нежелательно при определении расхода и количества газа, а также в связи с тем, что наличие жидкой водной фазы (и твердой фазы – газовых гидратов) может усилить коррозию и вызвать неисправности оборудования, особенно в регулирующих и замерных узлах. Так, недавно установлено резкое усиление электрохимической коррозии трубопроводов в присутствии газогидратов. Согласно схеме организации контроля качества газовых потоков Единой системы газоснабжения, утвержденной руководством ОАО "Газпром", на всех объектах, поставляющих газ в систему газоснабжения, а также на всех газоизмерительных станциях (ГИС) должны быть установлены стационарные автоматизированные гигрометры, контролирующие влажность газа.

Таким образом, возникает потребность в создании эталонного средства, позволяющего определить достоверность измерения точки росы по

влаге и углеводородам природного газа не только при нормальных условиях, но и при рабочих давлениях (по крайней мере, до 10 МПа, а на АГНКС – до 25 МПа).

До последнего времени подобным средством поверки гигрометрических приборов оставался эталонный динамический генератор влажного газа “Родник-100”, разработанный и изготовленный в Восточно-Сибирском НИИ физико-технических и радиотехнических измерений (ВС НИИФТРИ) г. Иркутска. Этот генератор позволяет воспроизводить температуру точки росы в диапазоне давлений от 0,1 до 10 МПа с погрешностью не более 0,1 °С. Однако весьма существенным недостатком этого генератора является то, что диапазон воспроизведения точки росы ограничен только областью положительных по Цельсию температур. Этот диапазон температур совершенно не достаточен для целей газовой промышленности, т.к. в отраслевом стандарте ОСТ 51.40-93 показателей качества товарного газа речь идет о температурах точки росы, по крайней мере, до минус 20 °С. В представленной в 2003 г. ООО “ВНИИГАЗ” обновленной версии отраслевого стандарта предполагаются измерения точки росы газа по термодинамически наиболее стабильной водной фазе. Это фактически означает, что на экспериментальном стенде следует задавать влажность газа, обеспечивающую определенные точки росы газа по переохлажденной воде, газовым гидратам и водометанольному раствору. Что касается задания отрицательных по Цельсию температур точек росы газа, то это принципиально возможно на динамических генераторах влажности “Родник-2” и “Родник-3” [1], построенных по принципу сравнения двух атмосферных давлений. Воспроизведение же точки росы при повышенных давлениях в измерительной камере (до 10 МПа) в широком диапазоне температур обеспечивает поверочный комплекс “КОНГ” [1, 2], разработанный и серийно выпускаемый в настоящее время научно-производственной фирмой “Вымпел” (г. Саратов). Достоинство поверочного комплекса “КОНГ” – возможность практического использования в промышленных условиях для оперативной поверки влагомеров в условиях производственного предприятия. Однако недостатком поверочного комплекса является то, что заданная точка росы воспроизводится в малом замкнутом объеме (в рамках этой технологии оперативной поверки гигрометров, по-видимому, затруднительно достичь метрологической точности воспроизведения точки росы на уровне 0,1-0,25 °С). Кроме того, конструктивно использование поверочного комплекса “КОНГ” преимущественно возможно для поверки приборов серии “КОНГ-ПРИМА” и принципиально не пригодно для тестирования других типов приборов.

В связи с этим специалистами НПФ "Вымпел" разработан комплексный стенд для исследования в широком диапазоне температур и давлений точности измерения различными гигрометрами точек росы газа по влаге (а также льду, газовым гидратам) и тяжелым углеводородам. Кроме того, этот стенд позволяет систематически изучать влияние различных технологических примесей в природных газах на показатели качества товарного газа.

Несколько слов об устройстве и принципах работы стенда.

Стенд является стационарным, непрерывно действующим в пределах цикла эксперимента устройством для получения парогазовой смеси с заданной температурой точки росы по воде и углеводородам. Внешний вид стенда представлен на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид экспериментального стенда

Стенд предназначен:

- для получения парогазовой смеси с известными значениями точки росы по влаге и углеводородам с целью тестирования и поверки влагомеров различных типов (различных физических принципов действия);
- проведения исследовательских работ по определению влияния примесей в газе (алифатических спиртов, гликолей и пр.) гигрометрами с самыми различными принципами измерения (в т. ч. для разрабатываемых фирмой "Вымпел" переносных моделей влагомеров, а также для испытаний нового лазерного гигрометра "КОНГ-ПРИМА 100");

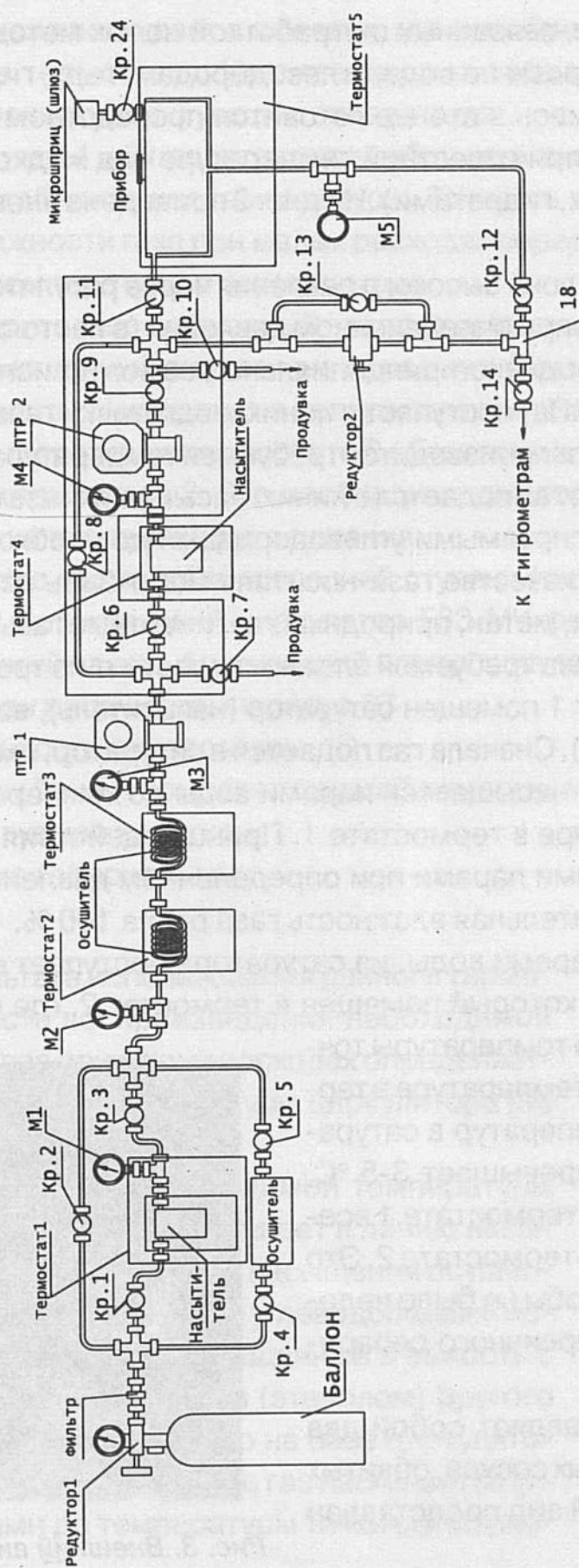


Рис. 2. Пневмомеханическая схема стенда

- проведения работ, связанных с отработкой новых методик измерения температуры точки росы по воде, углеводородам, льду, гидратам.

Рабочая газовая смесь в стенде готовится посредством насыщения газа водяными парами при известной температуре над жидкой или твердой фазами воды (льдом, гидратами). На рис. 2 приведена пневмомонтажная схема стенда.

Газ-носитель из баллона высокого давления через регулятор давления и фильтр тонкой очистки при определенном давлении (в настоящее время в диапазоне 0,1-10 МПа, однако принципиально возможно использование стенда до давления 15 МПа) поступает в линию подготовки газа требуемой влажности, в которой и воспроизводится требуемая температура точки росы газа по воде. После этого газ подается в линию насыщения газа примесями, где насыщается конденсируемыми углеводородами до необходимой температуры точки росы. В качестве газа-носителя могут быть использованы любые газы (азот, воздух, метан, природный газ, инертные газы и др.).

Линия подготовки газа требуемой влажности состоит из трех термостатов (рис. 2). В термостат 1 помещен сатуратор (насытитель), во 2-й и 3-й – сепараторы (осушители). Сначала газ подается в сатуратор, смонтированный в термостате 1, где насыщается парами воды до температуры точки росы, равной температуре в термостате 1. Принцип действия основан на насыщении газа водяными парами при определенном давлении и температуре. При этом относительная влажность газа равна 100 %.

Газ, насыщенный парами воды, из сатуратора поступает в низкотемпературный сепаратор, который помещен в термостат 2, где он вымораживается (осушается) до температуры точки росы по воде, равной температуре в термостате 2. Разность температур в сатураторе и сепараторе не превышает 3-5 °С, при этом температура в термостате 1 всегда выше температуры в термостате 2. Это необходимо для того, чтобы не было недостатка воды на этапе первичного сепарирования.

Сепаратор представляет собой два сообщающихся проточных сосуда, обвитых змеевиком. Его внешний вид представлен на рис. 3.

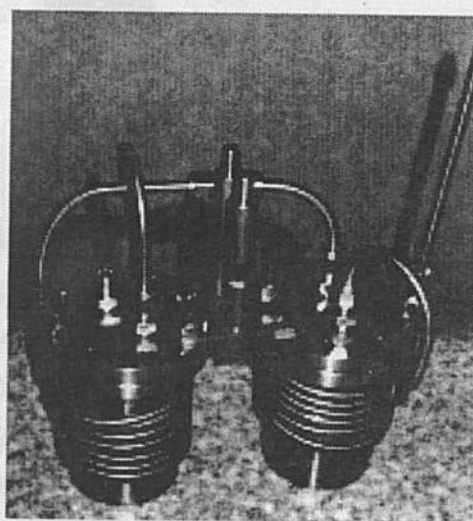


Рис. 3. Внешний вид сатуратора

Газ сначала поступает в змеевик, где приобретает температуру, установленную в термостате. Из змеевика газ попадает непосредственно в сосуды, выполняющие функцию сепараторов.

Термостаты 1 и 2 представляют собой термокамеры с блоком регулирования и стабилизации температуры. Точность воспроизведения необходимой влажности газа при малых расходах определяется точностью стабилизации температуры в термокамере.

Предварительно осушенный газ поступает в низкотемпературный сепаратор, помещенный аналогично первому в термостат 3 для точного осушения. Разность температур в сепараторах не должна превышать 3-5 °С, при этом температура в термостате 2 обязательно должна быть выше температуры в термостате 3. Это необходимо для того, чтобы не было недостатка воды на этапе точного осушения.

В качестве термостата последней ступени (термостат 3) используется жидкостный охлаждающий циркулятор F33-MV фирмы Julabo (Германия), представленный на рис. 4 и имеющий следующие основные характеристики.

Диапазон рабочих температур, °С	от -33 до +200
Стабильность температуры, °С	± 0,01
Размеры бани (термостатируемой камеры), мм	230x140x200
Используемая жидкость	этанол
Внешние габариты, мм	360x460x680
Вес, кг	38

В результате использования данного термостата точность воспроизведения необходимой влажности газа при малых расходах определяется стабильностью температуры циркулятора (на уровне 0,02 °С).

Осушенный до необходимой температуры точки росы по воде газ поступает в линию насыщения газа примесями. Для насыщения осушенного газа конденсируемыми углеводородами используется сатуратор, помещенный в емкость с незамерзающей жидкостью (этанолом) другого термостата 4, выполненного на базе циркулятора F33-MV фирмы Julabo, где газ насыщается углеводородами до температуры точки росы, рав-



Рис. 4. Охлаждающий термостат-циркулятор фирмы Julabo (Германия)

ной температуре в термостате. Насыщение исследуемого газа происходит за счет прохождения газа через слой углеводородной жидкости (примеси) и протекающих при этом массообменных процессов. Для избежания конденсации воды в сатураторе и последующего насыщения ею исследуемого газа температура насыщения углеводородами должна быть выше задаваемой температуры точки росы по воде не менее чем на 5 °С.

Для насыщения осушенного газа (уже с заданными значениями точки росы по влаге и углеводородам) парами метанола (либо другого летучего органического соединения, например этанола, изопропанола) используется буферная емкость из нержавеющей стали. Применение нержавеющей стали позволяет предотвратить процессы сорбции влаги и метанола на внутренней (полированной) поверхности буферной емкости. Буферная емкость помещена в термостат 5 (рис. 2) для поддержания в ней стабильной температуры.

Емкость продувается под давлением осушенным газом требуемой влажности, после чего перекрывается кран выхода газа, затем входной кран. В полученный замкнутый объем газа с известной влажностью с помощью микрошприца высокого давления вводится метанол. Объем вводимого метанола рассчитывается в зависимости от необходимой концентрации и давления газа в емкости. После полного испарения метанола внутри емкости газовая смесь через регулятор давления подается на вход измерительного средства, а затем вновь возвращается в буферную емкость. Таким образом, в экспериментальном стенде создается полная имитация работы приборов-гигрометров при расходе газа через рабочую зону прибора под рабочим давлением.

Стенд оборудован системой запорной арматуры (Кр. 1...Кр. 14 на рис. 2), позволяющей комбинировать прохождение газовых потоков и их насыщение. Контроль давления, при котором происходит насыщение газа-носителя различными компонентами, осуществляется системой манометров (М1...М5 на рис. 2). В результате на выходе из стенда получается парогазовая смесь с известным содержанием влаги, которая при необходимости может быть насыщена парами углеводородов или других технологических примесей.

Результаты испытаний стенда показали следующее (испытания проводились в два этапа).

На первом этапе испытаний совместно с представителями ВС НИИФ-ТРИ (г. Иркутск) во главе с руководителем отдела физико-технических из-



Таблица 1

## Метрологические и эксплуатационные характеристики стенда

Диапазон воспроизведения температуры точки росы	Диапазон воспроизведения концентраций по метанолу		Пределы основной абсолютной погрешности при воспроиз- ведении точки росы по влаге в нормальных условиях и при давлении до 10 МПа, °С	Пределы основной абсолютной погрешности при воспроиз- ведении точки росы по углекислоро- дам в нор- мальных условиях и при давлении до 10 МПа, °С	Погрешность поддержания температуры в термостатах последней ступени, °С	Время выхода установки на режим		Газ - носитель	Расход газа- носителя, дм <sup>3</sup> /мин	Монтаж
	по влаге, °С	по углекислоро- дам, °С				при давлении 0,1 МПа, ч	при давлении 10 МПа, ч			
-30...+30	от 0 до 25 000	от 0 до 600	±0,15	±0,5	±0,02	не более 1	не более 2	чистый воздух или азот	не должен превы- шать 5±0,5	в поме- щении
-30...+30										

мерений, ученым-хранителем Государственного эталона единиц влажности газа Н.И. Дубовиком были произведены измерение, оценка и расчет составляющих погрешности, а также экспериментальные исследования стенда. Испытания проводились в августе 2003 г. в исследовательской лаборатории НПФ "Вымпел" (г. Саратов). Согласно утвержденной программе испытаний стенд аттестован в качестве рабочего эталона второго разряда единицы температуры точки росы и температуры конденсации углеводородов и имеет следующие основные метрологические и эксплуатационные характеристики (табл. 1).

На втором этапе испытаний стенда совместно с представителями ООО "ВНИИГАЗ" (начальником лаборатории к.т.н. С.А. Степановым и ведущим инженером С.А. Овчинниковым) проведены технические и метрологические испытания с использованием в качестве газа-носителя природного газа следующего компонентного состава (%): метан – 97,815, этан – 0,873, пропан – 0,273, изобутан – 0,044, н-бутан – 0,048, изопентан – 0,01, н-пентан – 0,01, диоксид углерода – 0,08, азот – 0,846, кислород – 0,001.

В качестве контрольного прибора использовался образцовый переносной анализатор точки росы "КОНГ-ПРИМА 4П", аттестованный с погрешностью  $\pm 0,25$  °С. Результаты испытаний стенда приведены в табл. 2 и 3.

На основе проведенных испытаний, а также по результатам исследований можно сделать следующие выводы.

Научно-производственной фирмой "Вымпел" (г. Саратов) разработан стенд, позволяющий воспроизводить значения точки росы по воде и угле-

Таблица 2

Результаты испытаний стенда при задании температуры точки росы по воде

Заданная точка росы по воде, °С	Измеренная точка росы по воде, °С (средняя по пяти измерениям)			Максимальное отклонение заданной на стенде точки росы от измеренной, °С
	при $p_{\text{газа}} = 0,1$ МПа	при $p_{\text{газа}} = 3$ МПа	при $p_{\text{газа}} = 6$ МПа	
-25	-24,9	-24,8	-25,2	$\pm 0,2$
-20	-20,1	-20,0	-20,1	+0,1
-10	-10,1	-10,0	-9,9	$\pm 0,1$
0	0,1	-0,2	-0,0	$\pm 0,2$
10	10,1	9,9	10,0	$\pm 0,2$

Таблица 3

Результаты испытаний стенда при задании температуры точки росы по углеводородам

Заданная точка росы по углеводородам (при заданной точке росы по воде $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), $^{\circ}\text{C}$	Измеренная точка росы по углеводородам, $^{\circ}\text{C}$			Максимальное отклонение заданной на стенде точки росы от измеренной, $^{\circ}\text{C}$
	при $p_{\text{газа}}=0,1\text{ МПа}$	при $p_{\text{газа}}=3\text{ МПа}$	при $p_{\text{газа}}=6\text{ МПа}$	
-25	25,5; -25,6; -25,4; -25,7; -25,6	-24,9; -24,7; -24,7; -24,8; -24,8	-24,8; -24,8; -24,5; -24,7; -24,6	+0,7/-0,5
-20	-20,4; -20,6; -20,3; -20,5; -20,6	-19,6; -19,5; -19,6; -19,5; -19,7	-19,6; -19,7; -19,7; -19,6; -19,7	+0,6/-0,5
-10	-10,5; -10,6; -10,5; -10,6; -10,7	-9,6; -9,7; -9,6; -9,7; -9,7	-9,7; -9,5; -9,6; -9,6; -9,6	+0,7/-0,5
0	-0,5; -0,8; -0,6; -0,7; -0,6	0,5; 0,6; 0,6; 0,5; 0,6	0,6; 0,6; 0,5; 0,5; 0,7	+0,8/-0,5
10	9,5; 9,5; 9,6; 9,6; 9,6	10,5; 10,6; 10,6; 10,6; 10,7	10,6; 10,6; 10,5; 10,7; 10,6	$\pm 0,5$

водородам в диапазоне давлений измеряемой среды 0,1...10 МПа, а также насыщать газ-носитель с известными параметрами влажности различными примесями (ДЭГ, ТЭГ, метанол и др.).

Стенд аттестован в качестве эталона второго разряда единицы температуры точки росы и температуры конденсации углеводородов в диапазоне рабочих давлений 0,1...10 МПа с погрешностью  $\pm 0,15$  °С по влаге и  $\pm 0,5$  °С по углеводородам. Диапазон воспроизведения точки росы – от -30 до +30 °С. При проведении испытаний в качестве газа-носителя использовался чистый воздух.

Стенд обеспечивает воспроизведение точек росы по воде в диапазоне -30 ...+30 °С как при нормальных условиях, так и под давлением до 10 МПа с погрешностью не более чем  $\pm 0,2$  °С при использовании в качестве газа-носителя природного газа.

Стенд обеспечивает воспроизведение точки росы по углеводородам в диапазоне -30 ...+30 °С под давлением до 10 МПа с погрешностью  $\pm 0,8$  °С при атмосферном давлении и  $\pm 0,5$  °С под давлением при использовании в качестве газа-носителя природного газа.

Экспериментальный стенд предполагается использовать:

- для метрологической аттестации гигрометров различных типов;
- проведения методических работ по определению влияния примесей в природном газе на точность измерения влажности;
- проведения исследовательских работ, связанных с отработкой методик измерения температур точек росы газа по воде, водному раствору метанола, углеводородам, льду, гидратам;
- прецизионного изучения двухфазных равновесий газовых гидратов (термодинамики равновесий типа "газ-газовый гидрат").

### Список литературы

1. Селезнев С.В., Деревягин А.М., Истомина В.А. и др. Поверочный комплекс "КОНГ" // Наука и техника в газовой промышленности. – 2003. – № 1. – С. 43-50.

2. Деревягин А.М., Миронов К.И. Контрольная и поверочная аппаратура по измерению влагосодержания природного газа // Материалы НТС РАО "Газпром" "О научно-технических проблемах обеспечения перехода на взаиморасчеты за поставляемый природный газ по его энергетическим показателям". – М.: ООО "ИРЦ Газпром". – 1997. – С. 36-43.