

Курс лекций
«Измерительное и поверочное оборудование серии «КОНГ-Прима» для оперативного контроля влажности природного газа по температуре точки росы»

Тема 1. Технические требования к показателям качества газа, их взаимосвязь и зависимость от условий измерения.

Классификация величин влажности газов.

Влажность атмосферного воздуха или технологического газа является одним из важнейших параметров, определяющих качество продукции во многих отраслях производства. Величины, применяемые для количественного описания влажного газа, имеют различную физическую природу. Поэтому наиболее удобной с точки зрения организации и развития системы метрологического обеспечения гигрометрии является классификация величин влажности по физической природе. В соответствии с ней все величины влажности можно разделить на следующие группы:

- Величины давления: парциальное давление водяных паров;
- Величины температуры: точка росы, точка инея;
- Величины плотности: массовая и молярная плотность влаги;
- Величины концентрации: массовая, молярная и объемная доли влаги;
- Относительная влажность.

Наиболее широко используются в практической гигрометрии точка росы, объемная доля влаги и относительная влажность. Существует ряд соотношений, позволяющих по какой-либо одной измеренной величине влажности газа рассчитать все остальные.

Точка росы, как один из показателей влажности газа, определяет количественное содержание паров жидкости в газовых средах. Физически это минимальная температура газа, ниже которой из газа выделяется жидкость. Поэтому этот параметр контролируется в различных технологических процессах и производствах где требуется сухой газ.

Особую роль параметр точки росы имеет в газовой промышленности, где он определяет качество транспортируемого и поставляемого потребителям природного газа. При этом важны два параметра точки росы: точка росы по влаге и точка росы по углеводородам, которые конденсируются из газа независимо друг от друга.

Технические требования к показателям качества газа

В газовой промышленности разработаны технические требования по показателям качества газа в зависимости от его назначения. Важнейшими показателями являются температуры точек росы природного газа по влаге и углеводородам.

Технические требования на качество природного газа в настоящее время нормируются тремя стандартами.

1. Отраслевым стандартом на газы горючие природные, поставляемые и транспортируемые по магистральным газопроводам, ОСТ 51.40-93.
2. Государственным стандартом 5542-87 на газы природные для промышленного и коммунально-бытового назначения.
3. Государственным стандартом ГОСТ 27577-2000 Газ природный топливный компримированный для двигателей внутреннего сгорания. Технические условия.

Целесообразность нормирования показателей качества природных газов несколькими нормативно-техническими документами определяется различием требований на показатели качества газа для магистрального транспорта и для использования его в промышленности, в быту и как топлива для газобаллонных автомобилей.

Главной целью установления показателей и норм на качество газа, предназначенного для транспорта по магистральным газопроводам, является гарантия однофазного состояния газа в любой точке газопровода, а также повышение надежности и эффективности работы газотранспортных систем, повышение коэффициента извлечения углеводородного конденсата на газодобывающих предприятиях и, следовательно, снижение его потерь [1, 12]. Однофазное состояние газа - главное требование при магистральном транспорте газа. Это требование определяется значительными расстояниями, на которые перемещаются газовые потоки из районов добычи природного газа (в основном это районы Крайнего Севера) в районы его потребления (Европейская часть России и страны СНГ и Европы) и условиями транспортирования газа (высокое давление – 5,5 - 7,5 МПа, а в перспективе - до 10 МПа и низкие температуры - до минус 10 °С, а в перспективе, при транспорте газа с месторождений полуострова Ямал, до минус 20 °С). Нарушение этого требования приводит к фазовым превращениям компонентов транспортируемого газа в жидкое и твердое состояние (вода и углеводородный конденсат, лёд и газовые гидраты) и, соответственно, к увеличению гидравлического сопротивления трубопроводов. На головных участках магистральных газопроводов имеют место и другие технологические осложнения (залповые выносы накопившихся жидкостных пробок из газопровода при изменении расхода газа и др.)

В то же время определение показателей качества газа, поступающего на промышленное и коммунальное потребление, имеет целью повышение безопасности использования газа и улучшение санитарно-гигиенических условий при сжигании газа (например, в бытовых горелочных устройствах).

Основными показателями, по которым отраслевым стандартом ОСТ 51.40-93 устанавливаются нормы на качество природного газа, подаваемого в магистральные газопроводы, приняты: *точка росы по влаге и точка росы по углеводородам* (см. Таблицу 1.1.). Так как именно эти показатели определяют условия транспорта углеводородного газа в однофазном состоянии.

Контроль точек росы по влаге и углеводородам природного газа, поступающего в магистральные газопроводы, должен быть непрерывным, автоматическим и, что самое главное, – достоверным. Достоверность информации об основных показателях качества газа позволяет оперативно и эффективно управлять технологическими процессами на различных стадиях подготовки газа. Поэтому ОСТом предусматривается периодический контроль качества с помощью специальных приборов – гигрометров. Отсюда ясно, что достоверный контроль точки росы по влаге и углеводородам является важнейшим техническим и технологическим фактором, определяющим бесперебойное транспортирование природного газа.

Таблица 1

Показатели точек росы по влаге и углеводородам природных газов, поставляемых и транспортируемых по магистральным газопроводам (по ОСТ 51.40-93)

Показатель	Значения для макроклиматических районов			
	Умеренный		холодный	
	с 01.05 по 30.09	с 01.10 по 30.04	с 01.05 по 30.09	с 01.10 по 30.04
Точка росы газа по влаге, °С, не выше	минус 3	минус 5	минус 10	минус 20
Точка росы газа по углеводородам, °С, не выше	0	0	минус 5	минус 10

Требования контрактов на поставку газа по показателю температуры точки росы на экспорт следующие: по влаге для Украины – минус 8°С при давлении 4,0 МПа, для стран дальнего зарубежья: 50% контрактов – минус 8°С и другая половина – минус 10°С при давлении 4,2 МПа. Точка росы по углеводородам не должна превышать минус 7°С.

Удовлетворение показателей качества газа (в частности точки росы газа по влаге) требованиям ОСТа имеет и коммерческую составляющую, которая появляется при транспорте газа по магистральным газопроводам в пределах стран Содружества Независимых Государств и, особенно, при передаче через границу в страны-импортеры российского газа. Это выражено в огромных штрафах (доходящих до 50 млн. долларов в год), которые платит ОАО «Газпром» за поставку некондиционного газа, т.е. газа не соответствующего основному показателю качества - точки росы по влаге. Поэтому любые неточности по определению точки росы по влаге на

различных этапах подготовки и транспорта газа могут привести к существенным финансовым потерям.

В последнее время коммерческую актуальность приобретает и показатель качества газа: «точка росы по углеводородам», так как многие импортеры российского природного газа стали вносить этот показатель в контракты на поставку российского газа и/или выдвигать более жесткие требования по этому параметру.

Взаимосвязь основных величин влажности природного газа.

Точка росы по влаге. Взаимосвязь основных величин влажности природного газа определяется ГОСТом 20060-83 «Газы горючие природные. Методы определения содержания водяных паров и точки росы влаги».

Концентрация водяных паров в газе (W) при температуре 20°C и давлении 1001,325 кПа в г/м. куб вычисляют по формуле:

$$W = \frac{A * 101,325}{P} + B,$$

где А- коэффициент зависимости содержания воды от давления водяного пара при измеренной температуре точки росы влаги;

P = Pизб × 98,0665 + 101,325 – абсолютное давление исследуемого газа в измерительной камере;

Pизб – избыточное давление природного газа, кгс/см²;

B – коэффициент зависимости содержания воды от температуры точки росы влаги и состава газа.

На основании этой зависимости разработана таблица, которая является вспомогательным материалом, облегчающим практические расчеты приведенной температуры точки росы.

В таблице 2 приведены:

- в крайней левой колонке – концентрация водяных паров в газе в г/м³
- в выделенной колонке – температура точки росы в °С при абсолютном давлении газа 3,92 МПа (40 кгс/см²);
- в промежуточных колонках – температура точки росы в °С при избыточном давлении газа от 0,1 до 7,35 МПа (от 1 до 80 кгс/см²)

Промежуточные значения давления и температуры точки росы рассчитывают путем интерполяции.

Температуры точки росы ниже минус 40 °С и выше 35 °С в таблице не представлены.

Как видно из таблицы, точка росы газа изменяется с изменением давления, хотя концентрация водяных паров остается неизменной. Поэтому для получения единой картины количественного содержания водяных паров в природном газе приводят к условному (контрактному давлению) 3,92МПа.

Определение влагосодержания природного газа и приведение температуры точки росы влаги, измеренной при рабочем давлении газа к условному (контрактному) давлению, то есть абсолютному давлению 3,92МПа (40 кгс/см²), выполняют с помощью таблицы 2.

В графе таблицы с давлением, равным давлению газа, при котором была измерена температура точки росы, находят значение температуры, равное измеренному. В этой строке находят: в левой графе – влагосодержание в г/м³, в правой - приведенную температуру точки росы.

Пример 1.

Температура точки росы, измеренная при давлении газа 60 кгс/см², составила минус 9,0 °С.

Находим в графе "59" точку росы минус 7,0 °С . В строке с найденным значением температуры точки росы находим: в левой графе - влагосодержание 0,0749 г/м³, в выделенном столбце – приведенную точку росы минус 11,0 °С.

Пример 2.

Температура точки росы, измеренная при давлении газа 52 кгс/см², составила минус 10,6 °С.

Находим значения давления и температуры точки росы, близкие тем, что заданы.

W	55	52	50	40
0,0599	-11,5	t _{x1}	-12,5	-14,5
0,0749	-8,0	t _{x2}	-9,0	-11,0

Интерполируем температуру точки росы по давлению по формуле:

$$t_{x1} = -11,5 + \frac{[-12,5 - (-11,5)](52 - 55)}{50 - 55} = -12,1,$$

$$t_{x2} = -8,0 + \frac{[-9,0 - (-8,0)](52 - 55)}{50 - 55} = -8,6.$$

В результате, мы получили:

W	52	40
0,0599	-12,1	-14,5
W _x	-10,6	T _x
0,0749	-8,6	-11,0

Интерполируем влагосодержание и приведенную точку росы по полученным значениям точки росы, аналогично приведенному выше порядку интерполяции точки росы по давлению

$$W_x = 0,0599 + \frac{(0,0749 - 0,0599)[-10,6 - (-12,1)]}{-8,6 - (-12,1)} = 0,0629 \approx 0,0663 \text{ г/м}^3,$$

$$T_x = -14,5 + \frac{[-11,0 - (-14,5)][-10,6 - (-12,1)]}{-8,6 - (-12,1)} = -13,0 \text{ °С}$$

Таким образом, температуре точки росы минус 10,6 °С при давлении газа 52 кгс/см² соответствует влагосодержание 0,0663 г/м³ и приведенная точка росы минус 13,0 °С.

Точка росы по углеводородам

Существенным отличием метода измерения точки росы по углеводородам является то, что измеряется только температура начала конденсации, тогда как метод измерения точки росы по влаге подразумевает измерение, как температуры конденсации, так и температуры испарения. Это связано, прежде всего, со способностью сконденсированной плёнки углеводородов определенное время удерживаться на перегретой конденсационной поверхности. Поэтому, за точку росы углеводородов принимается температура начала конденсации на зеркале углеводородных фракций. Методы определения точки росы по углеводородам регламентируются ГОСТ 20061-84 «Газы горючие природные. Методы определения точки росы углеводородов», который стандартизирует конденсационный метод определения точки росы по углеводородам для природных газов, не содержащих капельных взвесей.

Определение $T_{тр}$ природного газа по углеводородам это определение термобарических условий (температуры и давления) существования фазового (газожидкостного) равновесия. Совокупность этих температур и давлений образует кривую фазового равновесия или в данном конкретном случае – кривую конденсации природного газа.

Для выполнения расчета $T_{тр}$ часто и успешно применяют так называемые кубические уравнения состояния (далее УС) Ван-дер-Ваальсова типа, в частности, например, уравнение состояния Пенга-Робинсона, Редлиха-Квонга-Соаве и других. Например, УС Пейтела-Тея (Patel-Teja) [2] – имеет вид:

$$p = \frac{RT}{v - b} - \frac{a}{v^2 + ubv + wb^2},$$

где

p , T и v – соответственно, давление, температура и удельный объем ПГ; R – универсальная газовая постоянная (8,31451 кДж/кмоль/К); a , b , u , w – коэффициенты УС, которые являются функцией концентраций компонентов смеси.

В программе GASPACK, которая использовалась при тестировании анализатора КОНГ-Прима-4 в лаборатории Газ де Франс используется УС Пенга-Робинсона.

Ввиду обилия различных уравнений, расчетные кривые фазового равновесия могут существенно отличаться друг от друга. Примерный вид кривой фазового равновесия углеводородного газа, представлен на рисунке. Из рисунка следует, что максимальная точка росы по углеводородам находится в области давлений 4,0...5,0 МПа. Для транспортируемого природного газа, содержащего менее 2% этана, максимум кривой фазового равновесия находится в районе 2,5...3 МПа. Абсолютная величина точки

росы по углеводородам определяется количественным содержанием высших углеводородов (C6...C10) гексана, октана, декана.

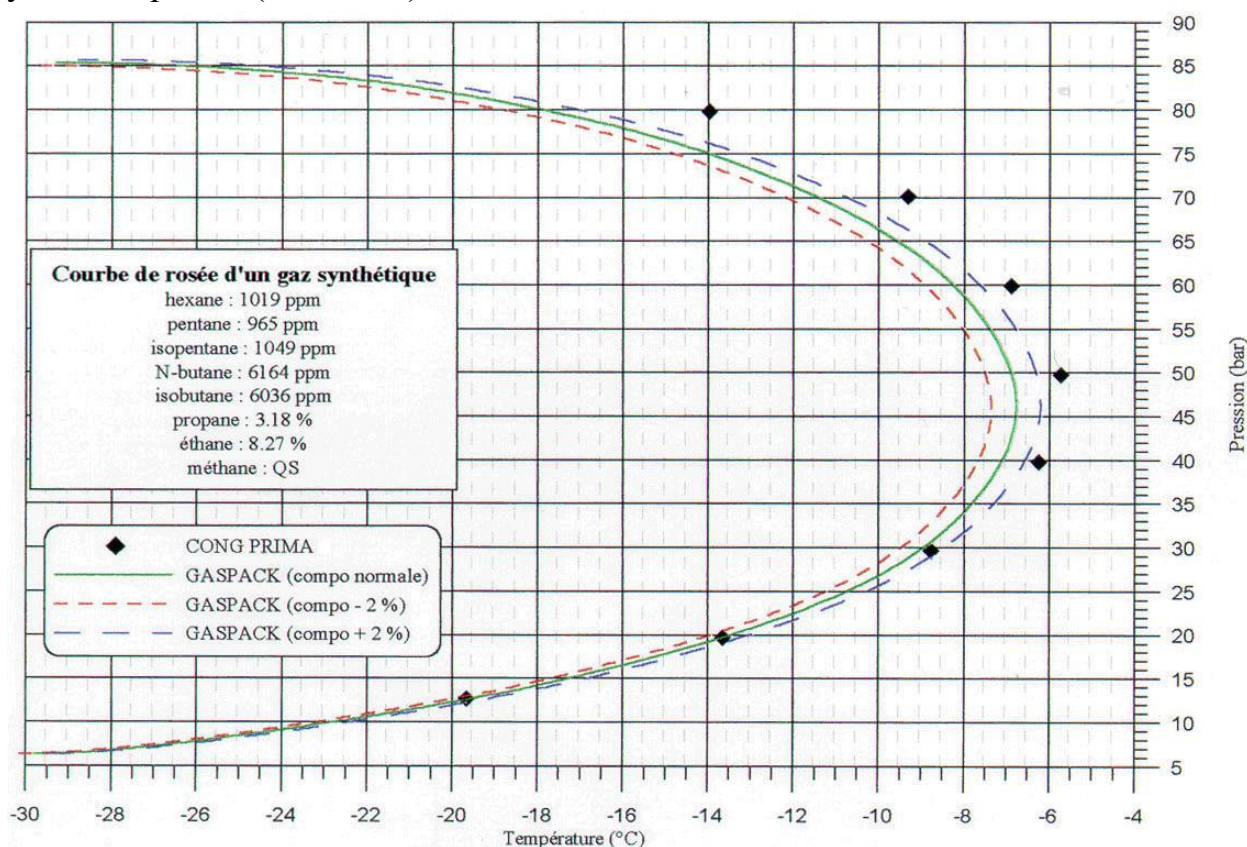


Рисунок 1.1. Кривая фазового равновесия синтетического газа и результаты измерений анализатора КОНГ-Прима-4.

Тема 2. Анализ методов определения качества товарного газа по параметру температуры точки росы.

Методы измерения влажности и точек росы газа по водной фазе

В настоящее время известно большое количество методов измерения влажности газов [3, 9, 16]. Приведённая на Рисунке 2.1 подробная классификация методов измерения влажности природных и технологических газов включает около двадцати наименований.

Как и большинство методов измерения физических величин, все методы измерения влажности газов можно подразделить на прямые и косвенные методы [4].

Прямые методы основаны на непосредственном разделении влаги и сухого газа с последующим определением количества влаги. В эту группу входят методы полного поглощения (гравиметрические и химические), конденсационно-сгустительный, с вымораживанием влаги и др.

В косвенных методах измеряется та или иная физическая величина, функционально связанная с влагосодержанием газа.

В нефтегазовой промышленности ГОСТ 20060-83 устанавливает три основных и наиболее распространенных метода определения точки росы влаги: конденсационный, кулонометрический и абсорбционный. Однако анализ отечественных и зарубежных разработок показывает, что за последнее десятилетие произошел существенный прорыв в области сорбционных методов измерения влажности, основанный на использовании новых материалов и сплавов.

Поэтому, в промышленных условиях для измерения влаги в сжатых газах нашли наибольшее распространение гигрометры, основанные на конденсационном, кулонометрическом, сорбционном и диэлькометрическом методах.

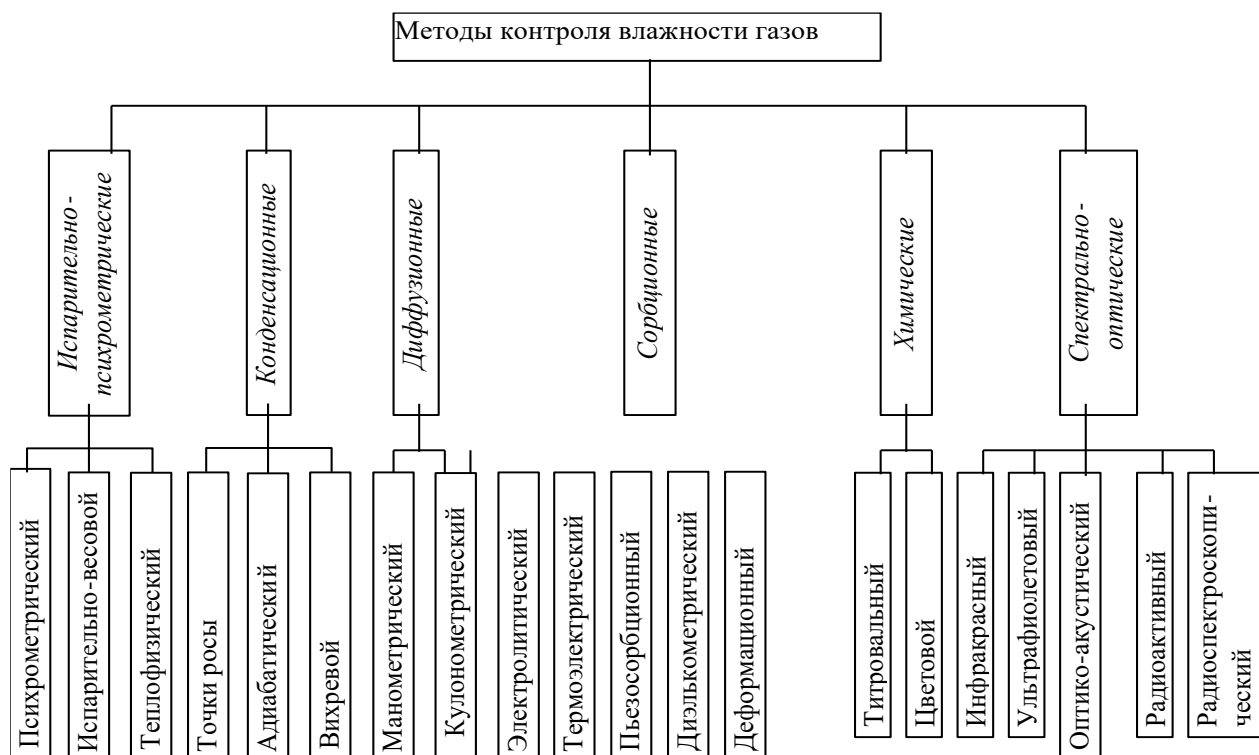


Рисунок 1.1. - Методы измерения влажности газов

Кратко опишем суть этих методов.

Конденсационный метод. Сущность метода заключается в определении температуры, до которой необходимо охладить прилегающий к охлаждаемой поверхности слой влажного газа, для того чтобы довести его до состояния насыщения при рабочем давлении. Измерение точки росы конденсационным методом сводится к выполнению трёх операций: охлаждение поверхности, фиксация момента появления на зеркале конденсата (в виде росы или инея) и измерение температуры поверхности зеркала, соответствующей этому моменту. Способы выполнения этих операций определяют конструкцию

гигрометра, его технические и метрологические характеристики. По сути, конденсационный метод позволяет естественным образом и в наиболее полном объеме получать достоверную информацию о влагосостоянии газа.

В работе [16] довольно подробно описаны серийные автоматические конденсационные гигрометры АГК-212Ф, ФЭГ-21М, и ФЭГ-01. Однако в настоящее время ни один из них не выпускается главным образом из-за производственных трудностей, связанных со сложностью конструкции этих гигрометров.

Из серийно выпускаемых гигрометров можно отметить ручные гигрометры серии «Харьков» и зарубежные автоматические гигрометры «Bovar», «Anaconda» и др.

Кулонометрический метод основан на полном извлечении влаги плёнкой сорбирующего вещества из точно дозируемого потока анализируемого газа при одновременном электролитическом разложении поглощенной влаги и измерении тока электролиза. При этом ток электролиза в установленном режиме является мерой содержания влаги в газе. Основные требования к кулонометрическим гигрометрам нормированы ГОСТ 17142-78 «Гигрометры кулонометрические. Общие технические условия».

Как правило, в автоматических кулонометрических гигрометрах чувствительный элемент представляет собой стеклянную трубку, внутри которой размещены платиновые электроды, выполненные в виде параллельных несоприкасающихся спиралей. Между электродами нанесена пленка частично гидратированной пятиоксида фосфора. Расход газа, протекающего через чувствительный элемент, стабилизирован регулятором расхода. Геометрические размеры чувствительного элемента и расход газа подобраны так, чтобы практически вся влага из газа поглощалась плёнкой сорбента. К электродам чувствительного элемента подключен источник тока, напряжение которого превышает потенциал разложения воды, поэтому одновременно с поглощением влаги непрерывно происходит ее электролиз. В установившемся режиме количества поглощенной и разложенной влаги равны, а ток электролиза пропорционален объёмной доле влаги в анализируемом газе.

Из серийно выпускаемых отечественных гигрометров основанных на кулонометрическом методе можно выделить гигрометры серии «Байкал», гигрометр «Кедр» из зарубежных гигрометров «Hugromat».

Абсорбционный метод основан на поглощении водяных паров безводным диэтиленгликолем (ДЭГ) и последующем определении связанной ДЭГом воды титрованием раствором К. Фишера [21]. Этот метод имеет ограничения по содержанию водяных паров в газе (не более 0,1 г/м³) и количеству сернистых соединений в газе (не более 0,03 г/м³), требует расходных материалов и поэтому применяется только в лабораторных условиях.

Сорбционные методы измерения влажности используют способность веществ сорбировать влагу и тем самым изменять их свойства. В последние десятилетия широкое применение нашел сравнительно новый метод измерения влажности газов – *пьезосорбционный*.

Чувствительный элемент пьезосорбционного гигрометра представляет собой пьезоэлектрический (кварцевый) резонатор, покрытый тонким слоем влагосорбирующего вещества. При повышении относительной влажности газа масса сорбированной влаги увеличивается, а собственная частота кварцевого резонатора уменьшается. Частота измерительного кварцевого генератора сравнивается с частотой опорного генератора. Разность между этими двумя частотами является мерой относительной влажности газа. Наиболее широкое распространение в промышленности нашли отечественные пьезосорбционные гигрометры серии «Волна», «Исток» и «Ива», а из зарубежных «Du Pont».

Диэлькометрический метод основан на измерении диэлектрической проницаемости газа, сильно зависящей от его влажности. Основой диэлектрического метода является зависимость диэлектрической проницаемости газа от его влагосодержания. Принцип действия гигрометров, базирующихся на диэлькометрическом методе, основан на сравнении диэлектрической проницаемости сухого опорного и влажного анализируемого газа, который попеременно поступает на один и тот же емкостной преобразователь.

Из серийно выпускаемых отечественных гигрометров, работающих на этом принципе, на рынке представлен гигрометр «Аргон-М». Номенклатура зарубежных гигрометров значительно шире – это гигрометры «Shaw», «Dewlux», «Panametrics», «Hygrolog WMY 770Z» и др.

Из вышеприведённого обзора видно, что список средств измерения влажности достаточно широк. Однако, по разным причинам, далеко не все они нашли своё применение на объектах газовой промышленности [6].

Средства измерения влажности природного газа

Рассмотрим далее те средства измерения, которые используются (или использовались) на объектах ОАО «Газпром» для решения проблемы измерения точки росы газа по влаге. Основные сведения об этих гигрометрах приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2

Гигрометры природного газа, используемые в газовой промышленности

Название	Метод измерения	Давление в рабочей камере, МПа	Что измеряется	Примечание
	Сорбционно-			Используется

Байкал	электролитический (кулонометрический)	менее 0,3	W	только на чистых газах, в основном на АГНКС
Shaw	Сорбционно-диэлькометрический	0,1	$W \rightarrow T_p^{H_2O}$	Чувствителен к примесям
Dewluxe	Сорбционно-диэлькометрический	0,1	W	Чувствителен к загрязнениям
Исток-3	Пьезосорбционный	0,1	W	Чувствителен к загрязнениям
Du Powt	Пьезосорбционный	0,05-0,70	W	Чувствителен к загрязнениям
Panametric s Sistem 280	Сорбционно-диэлькометрический	до 30	$W \rightarrow T_p^{H_2O}$	Чувствителен к загрязнениям
Hygromat	Сорбционно-электролитический (кулонометрический)	до 20	$W \rightarrow T_p^{H_2O}$	Чувствителен к загрязнениям
Hygrolog WMY 770Z	Сорбционно-диэлькометрический	до 35	W	Не чувствителен к загрязнениям
ТТР	Конденсационно-термометрический, статический*	до 10	$T_p^{H_2O}$,	Охлаждение рабочим газом

Продолжение таблицы 1.2

Название	Метод измерения	Давление в рабочей камере, МПа	Что измеряется	Примечание
Харьков-1	То же самое	до 10	$T_p^{H_2O}$	Охлаждение рабочим газом
Харьков-4	Конденсационно-термометрический, динамический	до 10	$T_p^{H_2O}$	Охлаждение рабочим газом

Dewscope	То же самое	до 10	$T_p^{H_2O}$	Охлаждение рабочим газом
Anaconda	То же самое	до 14	$T_p^{H_2O}$	Охлаждение водой
АГК-214	То же самое	до 10	$T_p^{H_2O}$	Охлаждение естественное
Bureau of Mines	То же самое	до 10	$T_p^{H_2O}$	Охлаждение жидким пропаном
Bovar	То же самое	до 13,5	$T_p^{H_2O}, T_p^{CH}$	Охлаждение естественное
Optomat Ex	То же самое	до 20	$T_p^{H_2O}$	Охлаждение естественное
CG-Chandler	То же самое	до 30	$T_p^{H_2O}$	Охлаждение жидким пропаном
Торос	То же самое	до 10	$T_p^{H_2O}$	Охлаждение термоэлектронной батареей
КОНГ-Прима-2	То же самое	до 25	$T_p^{H_2O}$	То же самое
КОНГ-Прима-4	То же самое	до 25	$T_p^{H_2O}, T_p^{CH}$	То же самое
КОНГ-Прима-10	То же самое	до 25	$T_p^{H_2O}, T_p^{CH}$	То же самое

Примечания: W – объёмное влагосодержание; $T_p^{H_2O}$ - температура точки росы по влаге; $W \rightarrow T_p^{H_2O}$ - температура точки росы по влаге, определяется путём пересчёта измеренного влагосодержания;

Как видно из таблицы 1.2 все перечисленные гигрометры, нашедшие реальное применение в газовой промышленности, можно укрупнено разделить на две группы – сорбционные и конденсационные. Ниже рассмотрим основные проблемы измерения точки росы по влаге и углеводородам сорбционными и конденсационными гигрометрами.

Гигрометры сорбционного типа.

Все сорбционные гигрометры основаны на принципе поглощения влаги с помощью различных сорбентов из достаточно точно известного объема газа, с последующим определением, тем или иным способом, поглощенного количества влаги. Вне зависимости от способов определения количества поглощенной влаги, всем приборам, построенным на основе этого метода, присущи общие недостатки, препятствующие их применению для определения влажности газов.

Перечислим основные недостатки сорбционных гигрометров.

1. Количество поглощенной влаги не является самодостаточной характеристикой (это вытекает из сущности метода) и для корректного определения характеристик влажности (объемной/массовой доли, точки росы) в многокомпонентном газе дополнительно, необходимо постоянно и достаточно точно контролировать расход, температуру, а также состав газа (особенно процентное содержание C_4H_{10} , H_2S_4 , CO_2), что достаточно сложно и дорого.

2. Сорбционные гигрометры, как правило, работают при атмосферном давлении, а это приводит к необходимости редуцирования сжатого (тестируемого) газа. При редуцировании газа из-за понижения температуры на штуцере редуктора может происходить конденсация влаги или углеводородов (в зависимости от их термодинамического состояния), что приводит к искажению компонентного состава газа и, соответственно, к ошибкам при расчетах характеристик влажности при рабочем давлении.

3. При работе в среде природного газа, содержащего углеводороды, происходит полимеризация сорбционной поверхности, что приводит к неконтролируемому должным образом смещению калибровочной характеристики гигрометра

4. Материалы, использующиеся в качестве сорбентов, не всегда обладают полной избирательностью в плане поглощения собственно воды (например, наряду с молекулами воды могут сорбироваться и молекулы метанола).

Всё вышеперечисленное приводит к нестабильности в работе сорбционных гигрометров и при использовании для контроля качества сжатого природного газа. Удовлетворительную точность прибором этого типа можно получить только после их калибровки на газах, близких по компонентному составу к реальным, что весьма затруднительно из-за отсутствия такого рода калибровочных установок. При этом стабильность калибровочной характеристики сорбционных гигрометров сохраняется в течение ограниченного времени наработки (от часа до нескольких суток в зависимости от типа сорбционного элемента).

Гигрометры конденсационного типа.

Конденсационные гигрометры составляют основную долю парка приборов, практически используемых в газовой промышленности [14]. Поэтому остановимся на них подробнее.

Как известно из термодинамики, состояние газа может быть однозначно определено любой парой его параметров состояния. В нашем случае, зная давление газа и начальную температуру и измеряя температуру точки росы газа по влаге (обе температуры могут быть определены в одном цикле измерения), мы получаем полную информацию о влажосостоянии природного газа.

Датчики современных конденсационных гигрометров состоят из конденсационного зеркала, где собственно и происходит выпадение влаги или плёнки углеводородов, а также термодатчика, измеряющего температуру на зеркале и, наконец, системы регистрации выпавшей на зеркале влаги или плёнки углеводородов.

Для охлаждения конденсационного зеркала могут применяться различные легко испаряющиеся жидкости (эфир и др.), охлаждающие смеси, чаще всего смеси твердой углекислоты (сухой лед) с бензином или спиртом. Для более глубокого охлаждения используют сжиженные газы, например азот или жидкий воздух. В современных приборах наиболее широкое применение нашли: термоэлектрическое охлаждение и охлаждение, основанное на вихревых эффектах [2, 4].

Ключевым элементом в построении конденсационного гигрометра является выбор системы регистрации, т.к. именно она определяет измерительные, габаритные и мощностные характеристики гигрометра в целом. Чем меньшее количество выпавшей влаги или чем тоньше плёнку углеводородов она может зарегистрировать, тем меньшей площади должно быть зеркало прибора; в свою очередь размеры зеркала определяют мощность термоэлектронной батареи, а от мощности батареи зависят размеры внешнего радиатора прибора и потребляемая им электрическая мощность.

Система регистрации может быть оптической, электрической (по изменению проводимости слоя конденсата), высокочастотной (по изменению диэлектрической проницаемости), и т.д. [2, 8]. Анализ всех существующих методов детектирования плёнки конденсата на поверхности зеркала прибора показывает, что наиболее перспективным методом является оптический метод регистрации. Этот метод реализован практически во всех серийно выпускаемых в мире гигрометрах. Его популярность обосновывается простотой, надёжностью и устойчивостью к тяжёлым условиям эксплуатации на реальных газах. В классическом варианте оптический метод включает источник света (светодиод), приемник света (фотодиод) и, собственно, объект для анализа (зеркала прибора, на котором происходит конденсация жидкости). Суть оптического метода проста: свет, излучаемый светодиодом, отражается от зеркала и попадает на фотодиод, но когда при охлаждении на зеркале конденсируется влага (в виде «тумана») появляется рассеивание света, что и фиксируется фотодиодом [4].

В существующих гигрометрах, представленных на рынке промышленных конденсационных гигрометров, в качестве конденсационного зеркала используются полированные поверхности, диаметром 10 мм и более. Для охлаждения конденсационного зеркала используются либо дроссельные холодильники, либо термоэлектрические охлаждающие устройства. В качестве системы регистрации плёнки конденсата применяется традиционная оптическая схема, построенная по принципу рассеяния (см. рис. 1.2) Возможны два варианта реализации такой схемы. В первом случае, источник света (светодиод или лазерный диод) под определенным углом освещает зеркало гигрометра. При этом фотоприемник (фотодиод) расположен таким образом, чтобы отраженный от (чистого) зеркала световой луч не попадал на него. Выпадение конденсированной фазы на зеркале гигрометра определяется по увеличению сигнала фотоприемника, за счет его рассеяния от поверхности зеркала при наличии на нем пленки конденсата.

Во втором случае, фотоприемник (фотодиод) расположен таким образом, чтобы при отсутствии на зеркале гигрометра пленки конденсата, его сигнал был максимальным. Выпадение конденсата на зеркале гигрометра определяется по уменьшению сигнала фотоприемника, за счет его рассеяния.

Таким образом, за температуру точки росы принимается измеряемая термодатчиком температура зеркала, при которой происходит увеличение (или уменьшение) тока фотодиода на определенную величину.

Средства измерения точки росы по углеводородам.

Как уже было отмечено, для измерения точки росы по углеводородам, которая определяет условия транспорта газа без конденсации жидкой углеводородной фазы, безальтернативным является конденсационный метод измерения. Например, сорбционным методом невозможно измерять точку росы по углеводородам. Это обстоятельство нашло отражение в ГОСТ 20061-84.

Существенным отличием метода измерения точки росы по углеводородам является то, что измеряется только температура начала конденсации, тогда как метод измерения точки росы по влаге подразумевает измерение, как температуры конденсации, так и температуры испарения. Это связано, прежде всего, со способностью сконденсированной плёнки углеводородов определенное время удерживаться на перегретой конденсационной поверхности. Под перегретой поверхностью понимается то, что температура поверхности превышает температуру точки росы по углеводородам. Кроме того, длительность удержания плёнки зависит от конкретных физических свойств того углеводорода, который в данных условиях сконденсировался на конденсационную поверхность. Это, естественно, может привести к ошибкам в определении температуры испарения, и как следствие, к неверному измерению точки росы по углеводородам. Поэтому точку росы по углеводородам определяют только

по конденсации, при этом вводится ограничение на скорость охлаждения конденсационной поверхности.

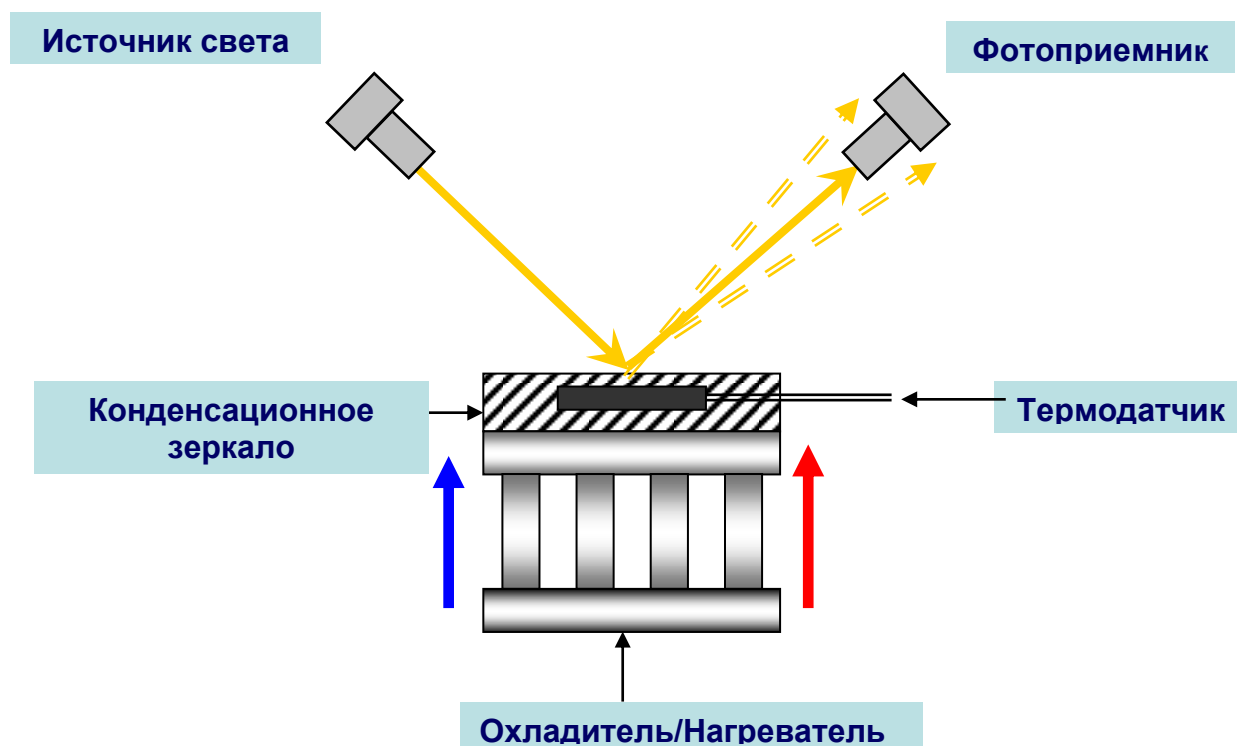


Рисунок 1.2. - Оптическая схема гигрометра на принципе рассеяния

Из серийно выпускаемых гигрометров, измеряющих точку росы по углеводородам можно отметить ручные гигрометры серии «Харьков», и ручные зарубежные гигрометры «Чандлер», автоматические зарубежные гигрометры фирм «Bovar», «Michell», «Ametek», «Marquis», а также выпускаемые нашей фирмой гигрометры «КОНГ-Прима-4» и «КОНГ-Прима-10». Во всех выпускаемых гигрометрах используется конденсационный метод регистрации точки росы по углеводородам. Основной проблемой всех вышеперечисленных приборов (за исключением анализатора «КОНГ-Прима-10») является недостаточно высокая чувствительность регистрирующего тракта, к конденсации тяжёлых углеводородов, образующих на зеркале тонкую прозрачную плёнку. Ручными гигрометрами плёнку тяжёлых углеводородов практически невозможно зарегистрировать из-за её оптической прозрачности. Автоматические гигрометры, как правило, фиксируют плёнку тяжёлых углеводородов значительно позднее температуры начала их фактической конденсации (т.е. имеет место значительное занижение измеряемой точки росы газа по углеводородам по сравнению с фактической величиной).

Гигрометры, реализующие одновременное измерение двух точек росы

Среди зарубежных и отечественных анализаторов, реализующих измерение двух точек росы (по влаге и углеводородам) можно выделить

всего три прибора: канадский анализатор «Bovar» модель 241 и наши анализаторы «КОНГ-Прима-4» и «КОНГ-Прима-10».

В приборе «Bovar» конденсационная поверхность датчика поделена на две части: полированную (для фиксации точки росы по влаге) и матовую (для фиксации точки росы по углеводородам).

В приборе «КОНГ-Прима-4» используется эффект нарушения полного внутреннего отражения света внутри оптического волокна.

В приборе «КОНГ-Прима-10» используется эффект поляризации света при отражении от диэлектрического зеркала.

Из-за неудовлетворительных результатов измерений точки росы по влаге в присутствии конденсируемых раньше по температуре углеводородов, анализатор «Bovar» снят с производства, а на его принципе фирмой Аметек выпускается измеритель точки росы по углеводородам.

Анализатор «КОНГ-Прима-4», в силу заложенного способа измерения, не может определять точку росы по углеводородам, если она одинакова или находится ниже по температуре точки росы по влаге.

Основными преимуществами новой разработки – анализатора «КОНГ-Прима-10» является более высокая чувствительность к конденсации тяжелых углеводородов и возможность измерения точек росы по влаге и углеводородам независимо от взаимного расположения их по температуре.

Тема 3. Преобразователь точки росы «КОНГ-Прима-2».

Преобразователь точки росы «КОНГ-Прима-2» (далее по тексту - ПТР, преобразователь) предназначен для измерения температуры точки росы по влаге (далее - ТТР, точка росы) в природном газе или других газах при рабочем давлении.

Преобразователь выпускается в следующих исполнениях:

- исполнение КРАУ2.844.001-03 предназначено для монтажа непосредственно на трубопроводе;

исполнение КРАУ2.844.001-04, с проточным газоподводом, предназначено для подключения к трубопроводу по проточной схеме, например, через систему подготовки газа КРАУ2.848.002 (далее - СПГ).

Внешний вид преобразователя представлен на рисунке 3.1.

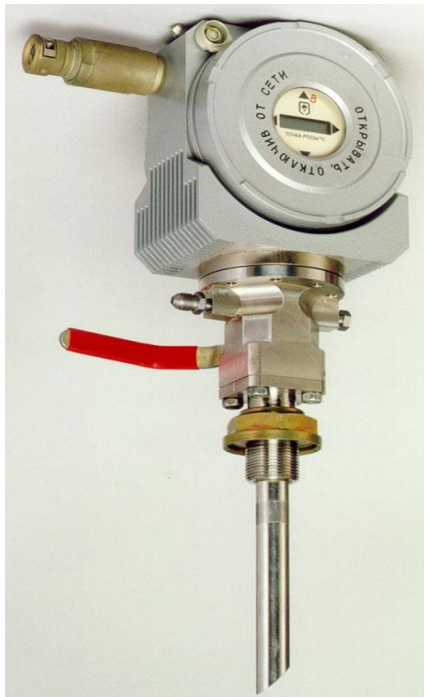


Рисунок 3.1. Внешний вид преобразователя точки росы «КОНГ-Прима-2».

Преобразователь имеет взрывобезопасный уровень взрывозащиты, вид взрывозащиты «взрывонепроницаемая оболочка» по ГОСТ Р 51330.1 (ГОСТ 22782.6 - при поставках в Украину), специальный по ГОСТ 22782.3. Маркировка взрывозащиты 1ExsdIIAT3.

Прибор по классификации ГОСТ 12997 относится к изделиям:

Таблица 1

по наличию информационной связи	для информационной связи с другими изделиями:
по виду энергии	электрическим;
по эксплуатационной	третьего порядка;
по метрологическим свойствам	средство измерения;
по защищённости от воздействий окружающей среды	оболочка со степенью защиты IP54 по
по стойкости к механическим воздействиям	N2;
по устойчивости к воздействию влажности окружающего воздуха	ДЗ;
по устойчивости к воздействию атмосферного давления	P1.

Функционально прибор состоит из трех законченных узлов:

- датчика первичной информации (ДПИ);
- блока обработки (БО);
- блока питания (БП).

Схема соединений составных частей прибора приведена на рисунке 3.2.

Rmax, Ом	0,2	1,2	2,5	5,0	6,5	10,4	13	15,7	18,3	19,2	20,2	24,7
-------------	-----	-----	-----	-----	-----	------	----	------	------	------	------	------

Линия связи представляет собой кабель электрический с количеством жил не менее 4-х, сечением жилы не менее 0,75 мм², с наружным диаметром (8-11,5) мм (например, контрольные кабели типа КВВБбГ, КВВбГ).

Устройство и работа ДПИ

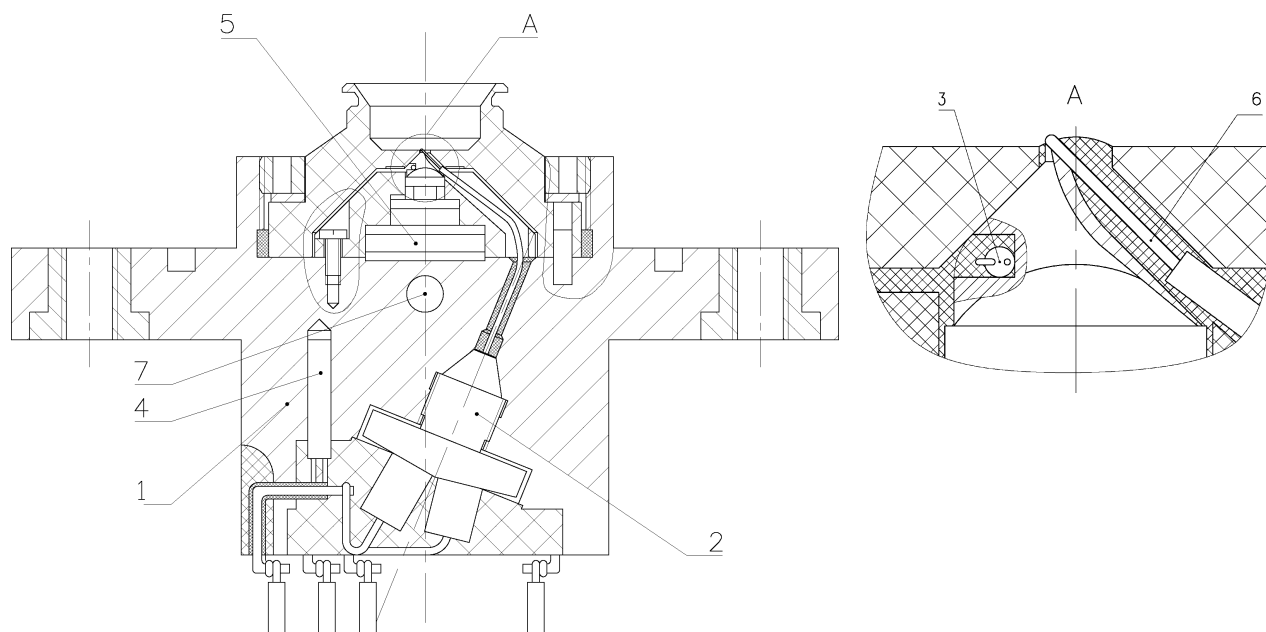
ДПИ предназначен для реализации режимов охлаждения, стабилизации и нагрева по командам с БО, а также для выдачи в БО электрических сигналов, соответствующих температуре и уровню сигнала фотоприемника (фотосигнала).

ДПИ является оптоволоконным преобразователем и обеспечивает изменение значений выходного сигнала при появлении или исчезновении влаги на его чувствительном элементе.

ДПИ (чертеж приведен на рисунке 3.3) состоит из корпуса 1, измерителя 2, терморезистора 3 для измерения температуры чувствительного элемента, терморезистора 4 для измерения температуры корпуса датчика, трехкаскадной термоэлектронной батареи 5, оптического волокна 6. В измерителе 2 размещены светодиод, фотодиод и световод 6.

ДПИ работает следующим образом.

При охлаждении световода и омывающего его газа до температуры насыщения при рабочем давлении трехкаскадной термоэлектронной батареи, на поверхность изогнутой части световода выпадает конденсат. Фотодиод регистрирует уменьшение интенсивности излучения, введенного в световод от светодиода, что является командой для включения нагрева и регистрации температуры конденсации терморезистором 3, сопряженным с изогнутой частью световода.



Поз.	Обозначение	Наименование
------	-------------	--------------

1	КРАУ8.034.014	Корпус
2	КРАУ5.185.002	Измеритель
3	–	Термодатчик
4	–	Термодатчик
5	–	Термоэлектронная батарея (элемент Пельтье)
6	КРАУ7.245.001 или КРАУ7.245.001–01	Световод (оптическое волокно)
7	–	Канал прохождения охлаждающего газа
8	SFH450-V	Светодиод
9	SFH250	Фотодиод

Рисунок 3.3. Датчик первичной информации.

При нагреве световода и омывающего его газа выше температуры насыщения, с поверхности изогнутой части световода испаряется конденсат и фотодиод регистрирует увеличение интенсивности излучения, что является командой для включения охлаждения и регистрации температуры испарения.

После вышеописанного процесса включается непрерывный нагрев световода в течение четырех минут, а в блоке БО вычисляется точка росы как среднее значение температур конденсации и испарения.

Устройство и работа БО и БП

БО обеспечивает:

- питание светодиода ДПИ импульсным током;
- измерение сигналов с фотодиода и терморезистора ДПИ;
- вычисление и индикацию точки росы;
- преобразование значений точки росы в унифицированный токовый сигнал 4...20 мА;
- управление коммутатором тока, питающего термоэлектронную батарею ДПИ по заданной программе.

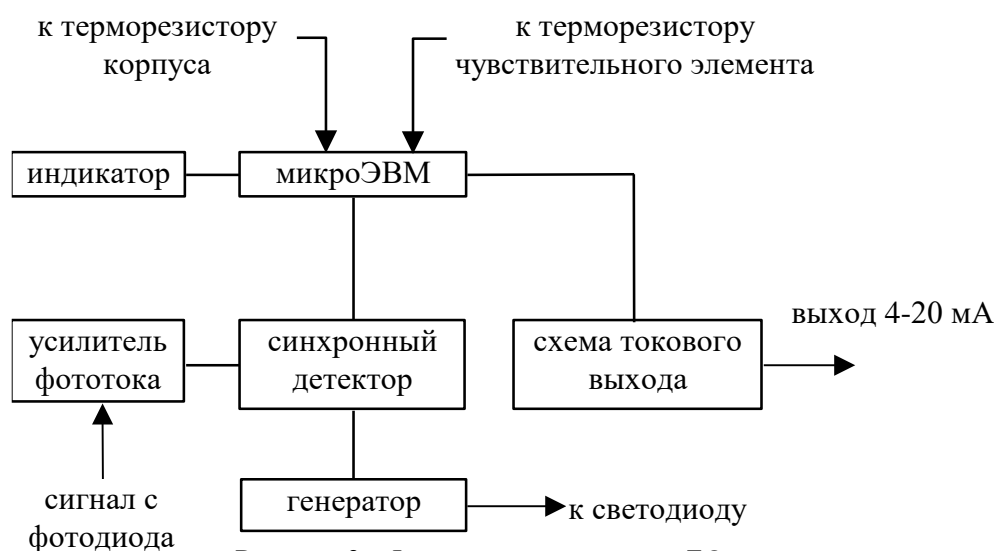


Рисунок 3 - Функциональная схема БО

Основным элементом БО является микроЭВМ, которая собрана на двух микросхемах: одна из них представляет собой однокристалльный микропроцессор, совмещенный с 4-канальным 12-разрядным АЦП и с

контроллером жидкокристаллического индикатора, другая - электрически перепрограммируемое ПЗУ.

На входы АЦП микроЭВМ поступают сигнал с терморезисторов и, через усилитель фототока и синхронный детектор, сигнал с фотодиода. Анализируя эти сигналы, микроЭВМ вычисляет значение точки росы, которое отображается на жидкокристаллическом индикаторе, и по двум линиям связи в последовательном коде передается на схему токового выхода, а также формирует два сигнала управления коммутатором тока, входящего в состав БП.

Усилитель фототока обеспечивает усиление сигнала фотодиода до величины, необходимой для нормальной работы АЦП. Он состоит из двух каскадов: первый представляет собой преобразователь тока в напряжение с коэффициентом 2 В/мкА , второй является усилителем напряжения с коэффициентом усиления 5.

После усилителя фототока сигнал поступает на синхронный детектор, в состав которого входят операционный усилитель и ключ, на котором импульсный сигнал с фотодиода преобразуется в постоянное напряжение, поступающее через RC-фильтр на вход АЦП микроЭВМ.

Генератор, собранный на двух микросхемах, обеспечивает питание светодиода ДПИ импульсным током типа «меандр» и работу синхронного детектора.

Схема токового выхода собрана на одной микросхеме и обеспечивает преобразование цифрового кода точки росы, поступающего с микроЭВМ, в стандартный токовый сигнал 4-20 мА. Выходной токовый сигнал должен измеряться на нагрузке не более 400 Ом относительно минусового провода питания устройства (18-42) В.

БП преобразует нестабилизированное входное напряжение $+(18...42) \text{ В}$ в стабилизированное напряжение $+15 \text{ В}$, используемое для питания блока обработки, и в стабилизированный ток переключаемой полярности $+2,5 \text{ А}$, минус $0,8 \text{ А}$, используемый для питания термоэлектронной батареи ТЭБ.

БП состоит из двух стабилизированных каналов, работающих по принципу ШИМ. Первый обеспечивает стабилизацию тока $+2,5 \text{ А}$, второй - стабилизацию постоянного напряжения 15 В и напряжения, используемого для питания ТЭБ в режиме «Нагрев». Первый канал выполнен в виде понижающего стабилизатора, второй - в виде стабилизированного преобразователя с обратным включением диода. Частота преобразования - 100 кГц .

Внутренняя защита БП гарантирует сохранение работоспособности при возникновении следующих перегрузок:

- неверное подключение полярности входного питания. Работоспособность восстанавливается после исправления ошибки подключения;

- уменьшение входного напряжения питания ниже 18 В . Работоспособность восстанавливается после увеличения входного напряжения выше 18 В ;

- повышение входного напряжения питания выше 51 В. Работоспособность восстанавливается после замены входного предохранителя.

Входной фильтр обеспечивает подавление высокочастотных помех, распространяющихся по первичной цепи питания.

Дополнительное оборудование

К дополнительному оборудованию относится устройство регистрирующее «Трасса» (далее по тексту – Трасса). Трасса представляет собой устройство регистрации и хранения данных с прибора. К одной Трассе можно подключить преобразователь точки росы «КОНГ-Прима-2», датчик давления и датчик температуры.

Данные, хранящиеся в Трассе, считываются на компьютер при помощи терминальной программы. Терминальная программа должна быть предварительно инсталлирована на компьютер. Терминальная программа работает под оболочкой Windows.

Для подключения компьютера к Трассе используется кабель, входящий в комплект поставки Трассы.

Терминальная программа имеет возможность пересчёта измеренной точки росы при рабочем давлении на нормируемое давление. Т.е. точку росы, измеренную прибором при давлении, например, 6,0 МПа, можно пересчитать на давление 4,0 МПа.

Для автоматического пересчёта к Трассе необходимо подключить датчик давления. Трасса рассчитана на подключение датчика давления с диапазоном измерения 0,1...10 МПа и токовым выходом 4...20 мА; длина кабеля между Трассой и датчиком давления (а также между Трассой и прибором) не должна превышать 1 км.

Возможность подключения датчика температуры реализована как чисто сервисная функция. Температура не участвует в каких-либо расчётах терминальной программы и не влияет на измеряемую прибором точку росы. Если же потребитель намерен подключить датчики температуры к Трассе, то следует учесть следующие моменты:

- Трасса рассчитана на подключение термопреобразователей сопротивления Pt100; преобразователи подключаются по трёхпроводной схеме;
- датчики температуры должны быть тщательно проверены на предмет утечек тока на корпус;
- кабель для подключения термопреобразователей должен быть хорошо защищён от влияния наводок от силовых кабелей;
- максимальная длина линии связи по каналам температуры – не более 300 м.

Отклонение от этих рекомендации может привести к большим погрешностям в показаниях Трассы, как по каналу температуры, так и по другим измерительным каналам.

Органы управления ПТР и соединения

На лицевой стороне ПТР расположен однострочный индикатор, предназначенный для индикации измеренных значений точки росы в процессе работы ПТР, и четыре магнитные клавиши для управления работой ПТР.

Под задней крышкой ПТР находится клеммная колодка, предназначенная для подачи питания на ПТР и выдачи информации об измеренном значении через аналоговый токовый выход 4...20мА.

Прибор устанавливается во взрывоопасной зоне на открытых пром. площадках и может эксплуатироваться при температуре окружающей среды минус 40...+40°C. Трасса и блок питания устанавливаются во взрывобезопасной зоне в помещениях с температурой 0...+50°C. Для монтажа оборудования необходимо иметь кабель с внешним диаметром 10,5...11,5 мм, с числом жил не менее четырёх и сечением жилы не менее 0,75 мм². Внешний диаметр кабеля определяет герметичность взрывозащищённого ввода прибора. Если диаметр будет больше, то кабель не пройдёт через кабельный ввод прибора, если меньше, то кабельный ввод будет негерметичен, и в этом случае будут нарушены требования взрывозащищённости и влагонепроницаемости оболочки прибора.

Основные требования к монтажу прибора

При выборе места установки необходимо учитывать следующее:

- прибор можно устанавливать во взрывоопасных зонах, в соответствии с маркировкой взрывозащиты;
- место установки прибора должно обеспечивать удобные условия для обслуживания и демонтажа;
- место установки прибора с погружным газоподводом или место отбора пробы газа для прибора с проточным газоподводом должно располагаться на прямолинейном горизонтальном участке трубопровода. Прямолинейный горизонтальный участок трубопровода не должен иметь сужений и препятствий на длине, равной 5-ти диаметрам трубопровода до места установки прибора и 3-м диаметрам трубопровода после места установки прибора. Допускается уменьшать указанные расстояния, что может потребовать более частого профилактического обслуживания прибора;
- рабочее положение прибора - вертикальное;
- напряженность магнитных полей, вызванных внешними источниками переменного тока частотой 50 Гц или внешними источниками постоянного тока, не должна превышать 40 А/м.

Алгоритм измерения точки росы

Алгоритм измерения представлен на рисунке 3.5, где:

- - линия, соответствующая температуре на зеркале (зеркалом условно называется чувствительный элемент прибора);
- - линия, соответствующая величине фотосигнала;
- - линия регистрации температур конденсации и испарения

(устанавливается программно).

Процесс измерения точки росы представлен в таблице 6 (в затемненных ячейках таблицы - нештатные режимы работы прибора) и состоит из трёх основных фаз:

- фазы нагрева и стабилизации температуры зеркала на уровне +35°C;
- фазы поиска температуры конденсации - охлаждение зеркала;
- фазы поиска температуры испарения - нагрев зеркала.

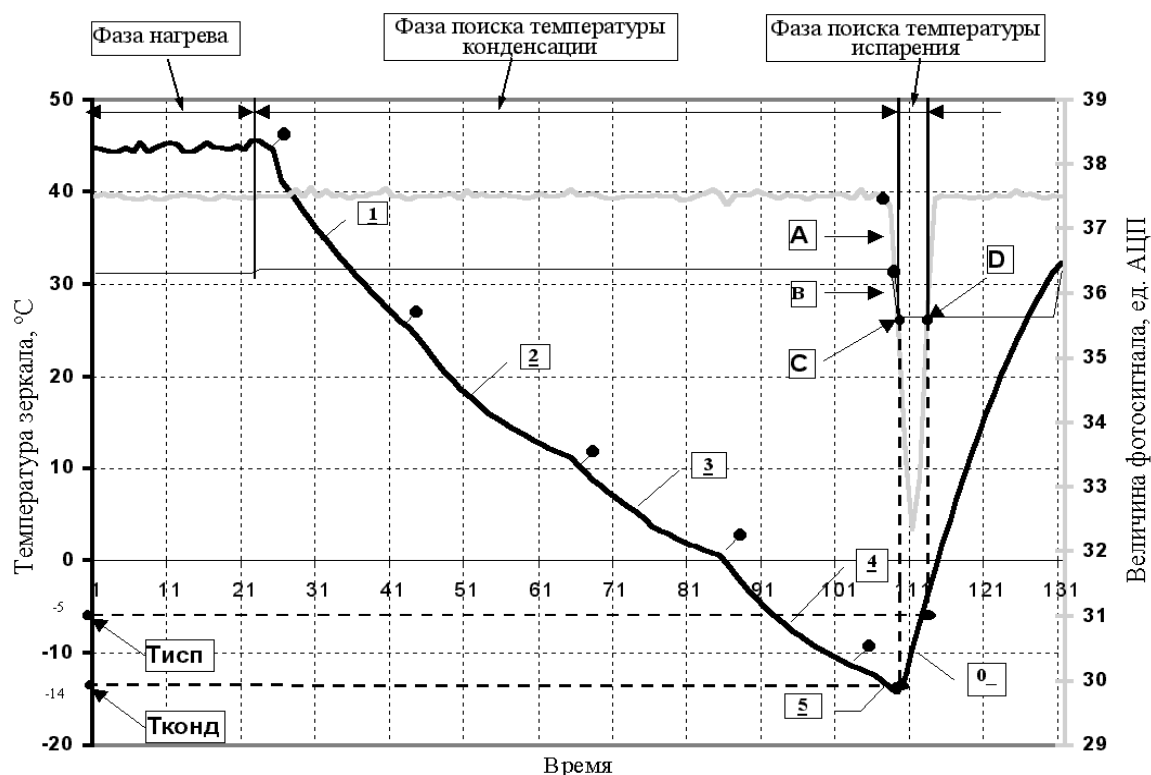


Рисунок 3.5. - Алгоритм измерения точки росы




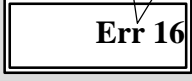
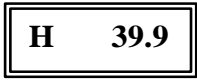


В процессе работы прибора на первом знакоместе индикатора индицируются символы d, H, P и цифры от 0 и 9, которые соответствуют отдельным фазам функционирования прибора, а именно:

d	- самодиагностика основных функциональных узлов прибора;
H	- нагрев чувствительного элемента и подготовка к очередному измерению точки росы;
P	- цифровая передача данных по токовому выходу (если этот режим включен). В этом режиме значение тока на токовом выходе прибора изменяется в пределах от 4 до 21,4 мА. Данный режим реализован в приборах с версиями программного обеспечения выше 4X.XX;
9	- фаза охлаждения зеркала;
0_	- фаза нагрева зеркала.

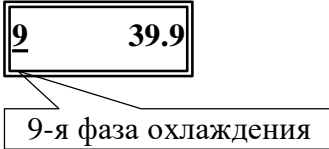

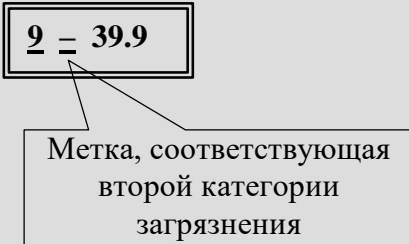
Кроме того, под первым и вторым (отсчет ведется слева направо) знакоместом индикатора в процессе работы индицируется знак "_", который соответствует включению охлаждения или нагрева чувствительного элемента прибора.

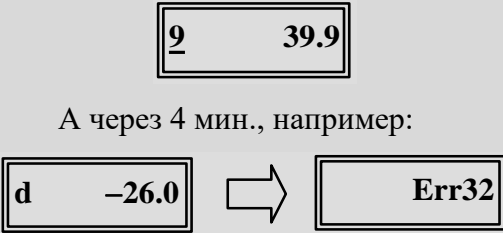

На третьем знакоместе индицируются знаки "=" при диагностике загрязнении ЧЭ ДПИ.

Процесс измерения точки росы	Состояние индикатора прибора и токового выхода
<p>1. Включение преобразователя Включить источник питания прибора</p>	<p>Через 2..3 секунды:</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; margin: 5px;">20.3</div> <p>В течение 10 секунд индицируется температура корпуса прибора в °С. На токовом выходе – 20мА.</p>
<p>2. Проверка исправности компонентов датчика (самодиагностика). Перечень кодов ошибок при самодиагностике приведен в п.4.2.9</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; margin: 5px;">d 39.9</div> <p>Если проверка прошла успешно, то затем:</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; margin: 5px;">H 39.9</div> <p>На токовом выходе – 20 мА</p>

Процесс измерения точки росы	Состояние индикатора прибора и токового выхода
<p>2.1. Если температура корпуса прибора выше 41°C или ниже 10°C, то прибор автоматически переходит в режим пассивного охлаждения или нагрева корпуса. При этом раз в 4 мин происходит проверка температуры корпуса. Как только температура корпуса войдет в указанный диапазон, прибор переходит на следующий этап измерения точки росы.</p>	<p>Мигающий режим</p> <p>2 сек: </p> <p>↓</p> <p>код ошибки</p> <p>2 сек: </p> <p>На токовом выходе – 20 мА</p>
<p>2.2. Если неисправен какой-либо компонент датчика, прибор на индикаторе показывает код ошибки и раз в 4 мин повторно проводит проверку компонентов датчика.</p>	<p>Мигающий режим</p> <p>2 сек: </p> <p>↓</p> <p>код ошибки</p> <p>2 сек: </p> <p>На токовом выходе – 20 мА. Если появилась ошибка Err16, то – 3.5 мА</p>
<p>3. Нагрев и стабилизация температуры зеркала прибора. В течение 4 мин прибор стабилизирует температуру зеркала на уровне +35°C. В конце периода стабилизации выполняется проверка состояния зеркала (уровень загрязнения).</p>	<p></p> <p>На рисунке 6 этот цикл соответствует фазе нагрева. На токовом выходе – 20 мА</p>
<p>Если проверка состояния зеркала дала отрицательный результат, то в этом случае на индикаторе появляется сообщение Err 04, и включается режим самоочистки зеркала. Каждые 4 минуты проверяется состояние зеркала. Если зеркало очистилось, то прибор перейдет к следующему циклу измерения точки росы.</p>	<p>2 сек: </p> <p>↓</p> <p>код ошибки</p> <p>2 сек: </p>

Продолжение таблицы 6

Процесс измерения точки росы	Состояние индикатора прибора и токового выхода
<p>4. Охлаждение зеркала прибора.</p> <p>Прибор охлаждает зеркало до появления конденсата. В последней версии программного обеспечения сразу включается режим максимального охлаждения. Фаза 9 охлаждения означает выход прибора на режим максимального охлаждения. На рисунке 6 этот цикл соответствует фазе поиска температуры конденсации. При появлении конденсата величина фотосигнала резко уменьшается - участок А. При пересечении линии величины фотосигнала с линией регистрации температур конденсации и испарения происходит подтверждение наличия воды на зеркале - участок В. В точке С производится фиксация температуры конденсации - $T_{\text{конд}}$, в данном случае - минус 14°C.</p>	 <p>На токовом выходе – 20 мА.</p>
<p>4.1. В любой фазе работы прибор может выдавать информацию о текущем состоянии зеркала. Уровень загрязнения зеркала делится на три категории:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1-я категория означает, что прибор в ближайшее время, возможно, потребует чистки зеркала; - 2-я категория означает, что зеркало прибора необходимо промыть; - 3-я категория - зеркало прибора недопустимо грязное, измерение точки росы невозможно. В этом случае включается режим самоочистки зеркала (см. п.3 таблицы). В этом случае зеркало прибора также необходимо промыть. 	  <p>3-я категория загрязнения описана в п.3 таблицы</p>

<p>4.2. Если прибор вышел на фазу 9 охлаждения и в течение 4 мин не обнаружил изменения величины фотосигнала, то в этом случае за точку росы принимается текущая температура зеркала и выдается сообщение Err32.</p>	<div style="text-align: center;">  <p>А через 4 мин., например:</p> </div>
<p>5. Нагрев зеркала прибора. Прибор нагревает зеркало до начала процесса испарения слоя конденсата.</p> <p>На рисунке 6 этот цикл соответствует фазе поиска температуры испарения.</p> <p>После фиксации температуры конденсации включается нагрев зеркала прибора - участок 0_.</p> <p>При испарении конденсата величина фотосигнала резко возрастает и при пересечении с линией регистрации температур конденсации и испарения в точке D происходит фиксация температуры испарения - Тисп, в данном случае - минус 5°C.</p> <p>Точка росы вычисляется как $(T_{\text{конд}} + T_{\text{исп}})/2$.</p>	<div style="text-align: center;">  <p>А затем:</p> </div> <p>На токовом выходе – ток, соответствующий минус 9,5°C.</p>

Дальнейшее функционирование прибора продолжается по п.3 таблицы 6, только вместо «**39.9**» на индикаторе прибора будет измеренная точка росы (в примере - минус 9,5 °С), а на токовом выходе вместо 20 мА - ток, соответствующий измеренной точке росы.

Примечание - Приборы с версиями программного обеспечения ниже 4X.XX (номер версии отображается на встроенном индикаторе прибора в течение 5 секунд при входе в сервисный режим) имеют следующие отличия:

- вместо числа 39.9 на индикатор прибора до первого измерения выводится число 99.9, а на токовый выход – ток 24 мА;
- вместо сообщения **err08** на индикатор выводится символ «**n**» при температуре корпуса выше 41°C и символ «**C**» при температуре корпуса ниже 10°C.

При определенных условиях на индикаторе могут периодически появляться сообщения об ошибке в алгоритме работы прибора.

Сообщения о результатах самодиагностики

- **Err 01** - ошибка измерения температуры чувствительного элемента ДПИ;
- **Err 02** - ошибка измерения температуры корпуса прибора;
- **Err 04** - ошибка измерения фотосигнала чувствительного

элемента ДПИ;

- **Err 08** - температура корпуса прибора ниже 10°C или выше 41°C;
- **Err 16** - ошибка при выполнении служебного теста чувствительного элемента ДПИ;
- **Err 32** - ошибка измерения точки росы (не достигнута температура конденсации или испарения);
- **Err 64** - точка росы за пределами рабочего диапазона (разница между измеренным значением точки росы и температурой корпуса прибора менее 5°C).

Сообщения **Err 01**, **Err 02** появляются, если электрические сигналы от термодатчиков выходят за диапазон измерения АЦП. Сообщение **Err 01** может появиться из-за кратковременной помехи. Поэтому, необходимо дождаться окончания следующего цикла измерения. Если сообщение **Err 01** появилось вновь, необходимо обратиться на предприятие-изготовитель. Появление сообщения **Err 04** вызвано, как правило, загрязнением чувствительного элемента или неисправностями оптического тракта прибора (неисправен светодиод, фотодиод или повреждено оптическое волокно). При появлении такого сообщения об ошибке необходимо произвести чистку чувствительного элемента.

Сообщение **Err 08** появляется, когда температура корпуса прибора выходит за пределы диапазона (+10...+41)°C. Это сообщение не связано с какими-либо ошибками в работе прибора или неисправностями его составных частей. В этом случае прибор не производит измерений точки росы и находится в состоянии пассивного охлаждения (если температура корпуса выше 41°C) или активного нагрева корпуса (если температура корпуса ниже 10°C). Когда температура корпуса прибора войдет в диапазон (10...41)°C, прибор автоматически переключится в режим измерения точки росы. Для предотвращения появления сообщения **Err 08**, необходимо устанавливать на прибор утеплитель при температуре окружающего воздуха ниже (10...15)°C, а при температуре окружающего воздуха выше (10...15)°C снимать утеплитель и устанавливать солнцезащитный навес.

Примечание - В приборах с версиями программного обеспечения ниже 4X.XX вместо сообщения **Err 08** на индикатор выводится символ «n» при температуре корпуса выше 41°C, и символ «C» при температуре корпуса ниже 10°C.

Сообщение об ошибке **Err 16** может появиться в следующих случаях:

- при неправильном подключении прибора к источнику питания;
- при напряжении питания прибора ниже 18 В;
- при сопротивлении линии связи между источником питания и прибором, превышающем значения, приведенные в п.1.1.7 настоящего руководства;
- при неисправности ДПИ, выявленной при выполнении служебного теста. Для устранения неисправности требуется

замена ДПИ.

Сообщения об ошибках **Err 32** и **Err 64** информируют о том, что измеренное значение точки росы может быть недостоверным, при этом прибор остается в режиме измерения точки росы. Появление сообщений **Err 32** и **Err 64** означает, как правило, что точка росы находится за пределами рабочего диапазона прибора.

Сервисный режим работы прибора

Сервисный режим работы прибора предназначен:

- для проверки достоверности показаний прибора и дополнительного оборудования;
- для проведения профилактических работ;
- для выявления на ранней стадии возможных отклонений режимов работы прибора.

Сервисный режим позволяет оператору с минимальным уровнем подготовки предпринимать правильные действия по диагностике прибора и принимать верные решения при возникновении нестандартных ситуаций с прибором.

Все операции по работе с меню сервисного режима производятся при помощи магнитного ключа (входит в комплект поставки) путем кратковременного воздействия на магнитные кнопки. Расположение магнитных кнопок на передней панели прибора и ориентация магнитного ключа показаны на рисунке 3.6.

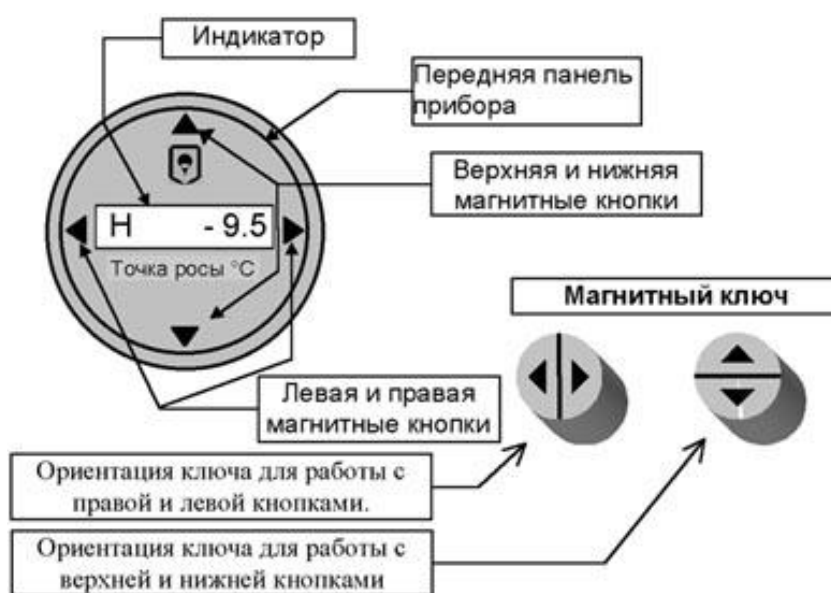


Рисунок 3.6. - Передняя панель прибора. Магнитный ключ

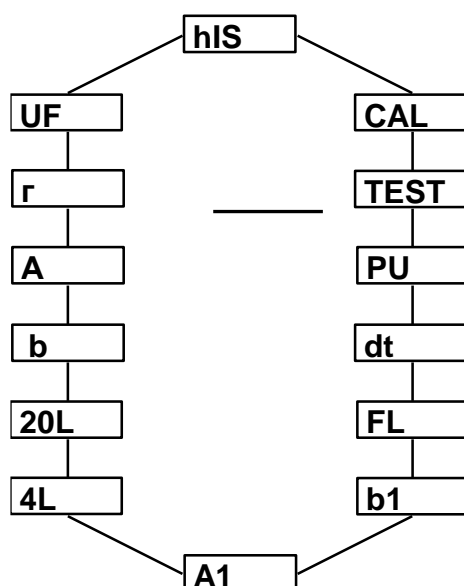


Рисунок 3.7. - Структура меню

Для того чтобы войти в меню, необходимо воздействовать магнитным ключом на правую магнитную кнопку (см. рисунок 7). На индикаторе появится первый пункт меню – «his». Для того чтобы просмотреть какой-либо из пунктов меню необходимо выполнить следующие операции:

- выбрать нужный пункт меню. Перемещение и выбор пунктов меню осуществляется воздействием на верхнюю или нижнюю магнитные кнопки;
- воздействуя на правую кнопку, войти в нужный пункт меню.

Меню прибора

Структура меню приведена на рисунке 8.

1) Пункт меню «his» содержит данные, участвующие в вычислении значения температуры точки росы по результатам последнего измерения. После входа в этот пункт меню на индикаторе с периодичностью 5 секунд будут индцироваться следующие параметры:

- “P1” “*****” - выбранная толщина пленки конденсата (%);
- “t3” “**.*” - температура конденсации, °C;
- “t2” “**.*” - температура испарения, °C;
- “t4” “**.*” - точка росы, измеренная при текущем значении величины фотосигнала, соответствующего выбранной толщине пленки конденсата, °C;
- “U1” “*****” - величина фотосигнала в условных единицах, соответствующая выбранной толщине пленки конденсата;
- “t6” “**.*” - температура ЧЭ перед началом очередного цикла измерения, °C;
- “t5” “**.*” - температура корпуса прибора перед началом очередного цикла измерения, °C.

- 2) Пункты меню **UF** и **r** - задаваемая толщина пленки конденсата (%) и гистерезис.
- 3) Пункты меню **A**, **b** и **b1** - калибровочные коэффициенты.
- 4) Пункты меню **4L** и **20L** - задают выходной токовый сигнал 4 и 20 мА соответственно для тестирования регистрирующего устройства.
- 5) Пункт меню **A1** - параметр, определяющий минимально допустимую разность между температурой конденсации и температурой испарения.
- 6) Пункт меню **FL** - параметр, определяющий максимально допустимую толщину пленки конденсата.
- 7) Пункты меню **dt** и **PU** - параметры, определяющие критерий достоверности измерения точки росы.
- 8) Пункт меню **test** - режим ручного тестирования прибора.
- 9) Пункт меню «**CAL**» - режим калибровки. Этот параметр может принимать значения «**on**» - включен или «**of**» - выключен. Этот параметр соответственно включает или отключает режим генерации пилот-сигнала. Пилот-сигнал - это импульс тока, величиной 24 мА, длительностью 2 секунды на токовом выходе преобразователя температуры точки росы «КОНГ-Прима-2» (пилот-сигнал используется при калибровке преобразователя на поверочном комплексе «КОНГ»).

В программе предусмотрен автоматический выход из любого пункта меню через 4 минуты при отсутствии каких-либо действий оператора.

Автоматическая настройка алгоритма на измерение точки росы по влаге предусматривает анализ конденсирующихся компонент по скорости изменения фотосигнала и осуществляется следующим образом.

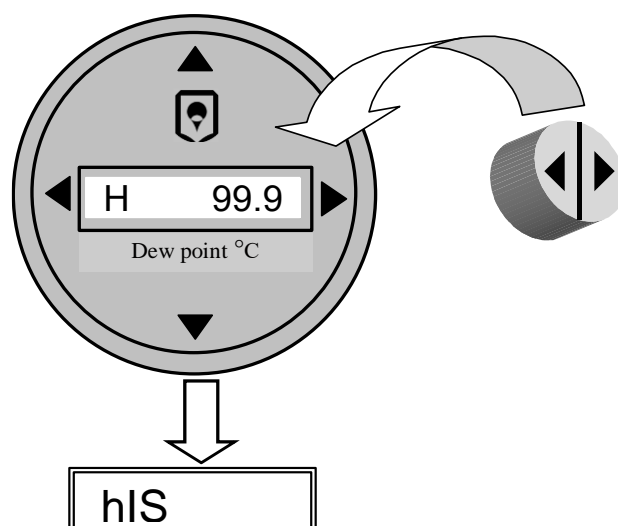
1. После подачи питания на прибор производится измерение точки росы при уровне фиксации, установленном в пункте меню **UF** (по умолчанию 90% от максимального сигнала перед началом охлаждения, принятого за 100%). При этом, для исключения влияния шумов, температура конденсации фиксируется на уровне = 90%, а температура испарения на уровне $UF+r=92\%$, где **r** - гистерезис (по умолчанию 2%). Измеренная точка росы выдается на индикатор и сохраняется в памяти. Пусть, например, измеренная точка росы $Tp(90) = -5,7^{\circ}C$.
2. Следующее измерение производится при уровне фиксации $(UF-15)\%$, т.е. по умолчанию 75%. Измеренная точка росы сравнивается с предыдущей. Если разница между измеренными значениями точки росы на 90% и 75% не превышает значения, установленного в пункте меню **dt** (по умолчанию $dt=3$) предполагается, что и в первом и во втором случаях зафиксирована конденсация влаги, измеренное значение $Tp(90) = -5,7^{\circ}C$ сохраняется в памяти прибора (**t4** в пункте **his**) и прибор производит серию из 10 измерений на уровне, установленном в пункте **UF**. По истечении 10 замеров или отличии текущего измеренного значения от хранящегося в

памяти (**t4** в пункте **his**) более чем на величину **dt**, проверка на более низком уровне повторяется. Если разница точек росы на уровне **UF** и (**UF – 15**) превышает значение **dt**, значение точки росы **Tr(UF-15)** сохраняется в памяти, но на индикатор не выводится. При этом в следующем измерении уровень фиксации точки росы понижается на величину **PU** (по умолчанию 10%). Пусть, например, **Tr(UF-15)=-12,2°C**. Разница точек росы превышает 3°C составляет 6,5°C. Следовательно, значение -12,2 на индикатор не выводится и следующее измерение происходит при уровне фиксации 60%.

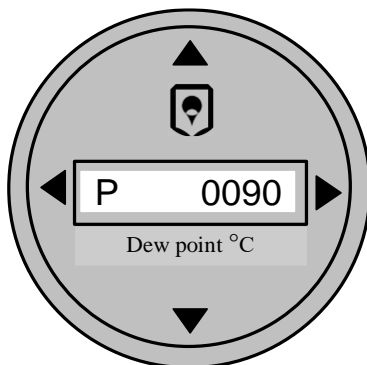
3. Измеренное значение на уровне фиксации на величину **PU** ниже предыдущего (60%) сравнивается с предыдущим измеренным (-12.2°C). Если разность значений не превышает величину, установленную в пункте **dt** (3°C), по аналогии с предыдущим, значение -12,2, измеренное на уровне 75% считается верным, выводится на индикатор и записывается в ячейку **t4** в пункте **his**. После этого также производится 10 измерений на выбранном уровне фиксации (75%). Если условие по **dt** не выполняется, происходит дальнейшее понижение уровня фиксации на величину **PU** по отношению к предыдущему. Минимальное значение уровня фиксации определяется значением, хранящемся в пункте меню **FL** (по умолчанию 50%). Если, например, **Tr(60%)=-13,1°C**, предполагается, что **Tr(75%)=-12,2** измерена по воде и дальнейшие 10 измерений производятся на уровне фиксации 75%.

Настройка прибора КОНГ-Примы-2 на измерение углеводов (в индикаторном режиме)

1. Выключить питание. Снять перемычку, установленную между контактами 4 и 5 клеммной колодки прибора.
2. Включить питание. После появления на дисплее прибора сообщения "**H 99.9**" активизировать правую магнитную кнопку:

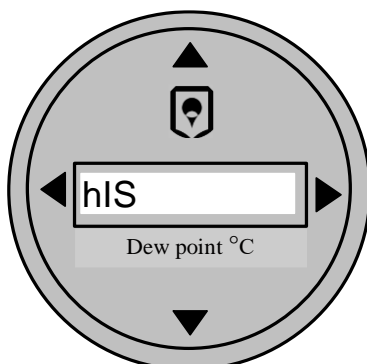


3. После появления сообщения "hIS", активизируя верхнюю или нижнюю клавиши, найти "UF". Далее активизировать правую магнитную кнопку. После чего на индикаторе появится "P 0090", причем крайняя правая цифра будет мигать:



Мигание символа указывает на то, что данный разряд доступен для изменения. Изменение производится с помощью верхней (+1) или нижней (-1) кнопок. Смена позиции разряда производится с помощью левой кнопки.

Установите значение **P=0095** и активизируйте правую кнопку - установленное значение изменено в EEPROM и произойдет выход в меню прибора:



4. Аналогичным образом изменить значения следующих параметров:

PU = 0000
dt = 100.0
r = 0001
FL = 008.8

5. Выключить питание. Установить перемычку между контактами 4 и 5 клеммной колодки прибора.

Режим цифровой передачи данных

Режим цифровой передачи данных реализован в версиях программного обеспечения прибора, начиная с «43.00» и выше.

В режиме цифровой передачи данных прибор передает по токовому выходу значения калибровочных коэффициентов A, b, b1, параметр настройки dt, код ошибки (при отсутствии ошибки значение кода «00»), номер прибора, значение точки росы и параметры истории замера. Передача производится импульсами тока в диапазоне (4 - 21,4) мА по внутрифирменному протоколу обмена данными. Длительность передачи около 1,5 минут.

Передача данных производится после окончания фазы нагрева или индикации кода ошибки, при этом на индикатор прибора выводится символ «P», например:

P	- 8.9
---	-------

После передачи данных на токовом выходе прибора устанавливается ток, соответствующий измеренной точке росы.

Режим цифровой передачи можно отключить следующим образом:

- войти в пункт меню «UF»;
- выставить любое отрицательное число;
- подтвердить ввод числа, воздействуя на правую магнитную кнопку, - режим цифровой передачи будет отключен (если снята перемычка между клеммами 4 и 5 клеммной колодки прибора). В этом случае на токовом выходе прибора всегда будет ток, соответствующий измеренной точке росы.

Включение режима цифровой передачи производится так же, как и отключение.

Для того чтобы проверить, включен режим цифровой передачи или нет, нужно посмотреть номер версии программного обеспечения прибора, который выводится на индикатор при входе в сервисный режим. При включенном режиме цифровой передачи вторая цифра номера версии равна 4, например «44.00», а при выключенном - 3, например «43.00».

Данные, передаваемые прибором в цифровом режиме, регистрируются и хранятся устройством Трасса с версиями программного обеспечения, начиная с «6.19».

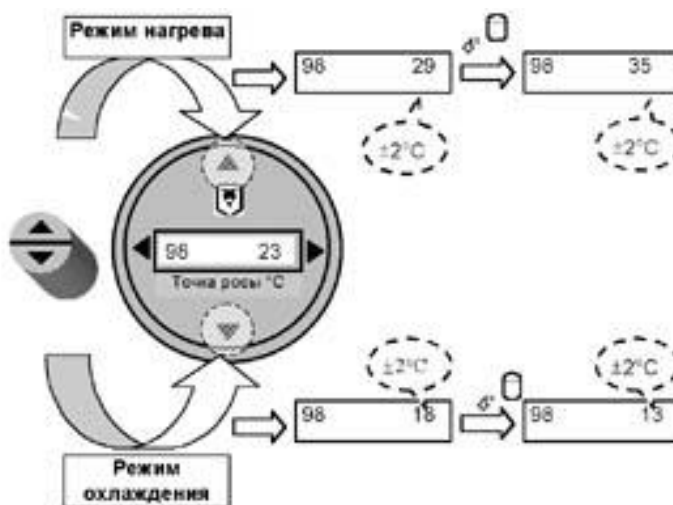
Работа с прибором в режиме «TEST»

Режим «TEST» позволяет оператору в ручном режиме охлаждать или нагревать зеркало прибора. Кроме того, в режиме «TEST» можно контролировать величину фотосигнала в процессе нагрева или охлаждения.

Ручной режим охлаждения или нагрева зеркала прибора:

- войти в режим «TEST»;
- в меню режима «TEST» выйти на индикацию текущей температуры зеркала прибора и уровня фотосигнала. В версиях программного обеспечения, начиная с «XX.30», при входе в пункт меню «TEST» ЧЭ автоматически прогревается до 50°C. В более ранних версиях температура ЧЭ равна температуре

корпуса прибора.



Процессы ручного охлаждения и нагрева абсолютно идентичны. Основные особенности ручного режима следующие:

- при однократном воздействии на верхнюю или нижнюю кнопки температура зеркала прибора повышается на 6°C и понижается на 5°C соответственно;
- стабилизация температуры на заданном уровне в ручном режиме осуществляется с погрешностью $\pm 2^{\circ}\text{C}$;
- в процессе охлаждения или нагрева можно перемещаться по меню режима «TEST», при этом температура зеркала будет продолжать стабилизироваться на заданном уровне;
- охлаждать и нагревать зеркало прибора можно из любого пункта меню режима «TEST».

Эти особенности позволяют в режиме «TEST» определять точку росы с погрешностью $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Схематично опишем этот процесс.

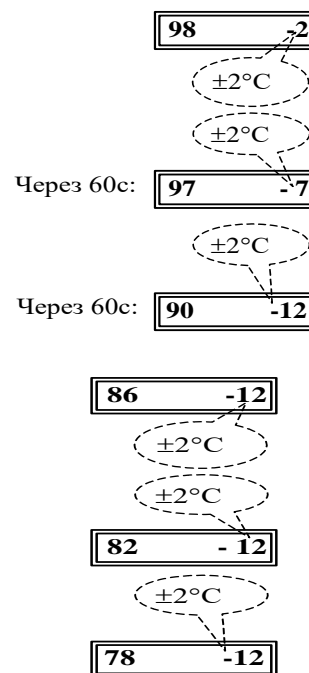
Алгоритм определения точки росы в режиме «TEST» следующий.

Допустим, что предполагаемая точка росы исследуемой среды – минус 8.5°C . Далее этот процесс представлен в таблице 7, где в левой колонке - действия оператора, а в правой - состояние индикатора и магнитного ключа (цифры приведены в качестве примера).

1. Войти в меню режима «TEST»	98 23
2. Охлаждение зеркала 2.1. Начать процесс охлаждения зеркала прибора. Для этого необходимо периодически воздействовать на нижнюю магнитную кнопку (каждое воздействие на кнопку приводит к снижению температуры зеркала на 5°C).	98 3

3. При приближении к предполагаемой точке росы необходимо снизить скорость охлаждения зеркала, путем удерживания температуры зеркала на каждом уровне стабилизации не менее 60 с, т.е. воздействовать на нижнюю магнитную кнопку не чаще одного раза в 60 с. Снизить скорость охлаждения следует за 5°C до предполагаемой точки росы.

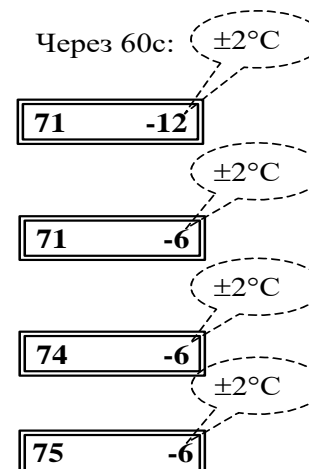
Сначала необходимо определить температуру конденсации. Для этого нужно найти такой уровень охлаждения зеркала, когда величина фотосигнала начинает уменьшаться. Т.е. на индикаторе состояния температуры зеркала значение не меняется, а на индикаторе величины фотосигнала значение уменьшается. Если значение величины фотосигнала уменьшилось более чем на 20% от начального значения, то в этом случае температура зеркала будет являться температурой конденсации. В нашем примере температура конденсации равна минус 12°C.



4. После определения температуры конденсации нужно определить температуру испарения. Для этого нужно плавно повысить температуру зеркала прибора, воздействуя на верхнюю магнитную кнопку, и учитывая, что нагрев зеркала происходит с дискретностью 6°C.

За температуру испарения берётся тот уровень нагрева зеркала прибора, при котором величина фотосигнала начинает увеличиваться. Т.е. на индикаторе значение температуры зеркала не меняется, а значение величины фотосигнала увеличивается. В нашем примере температура испарения равна минус 6°C.

Таким образом, мы получили температуру конденсации – минус 12°C, температуру испарения – минус 6°C, следовательно температура точки росы, вычисляемая как среднее арифметическое между температурой конденсации и температурой испарения, равна минус 9°C. Определённая таким образом точка росы не должна отличаться от измеренной в автоматическом режиме более чем на 3°C.



Техническое обслуживание

Для ПТР, работающих вне помещений особое внимание следует уделить тщательному утеплению пробоотборного устройства в осенне-зимний период. Рекомендуется кроме штатного утеплителя использовать другие теплоизолирующие материалы для дополнительного утепления «критических зон» пробоотборного устройства ПТР (см. рисунок 3.8). Для ПТР, работающих в обогреваемых боксах, необходимо обеспечить дополнительный обогрев газоподводящих импульсных линий.

Для исключения присутствия капельной жидкости в измерительной камере преобразователя рекомендуется установить постоянный расход газа через измерительную камеру с помощью игольчатого вентиля (см. рисунок 3.9.)

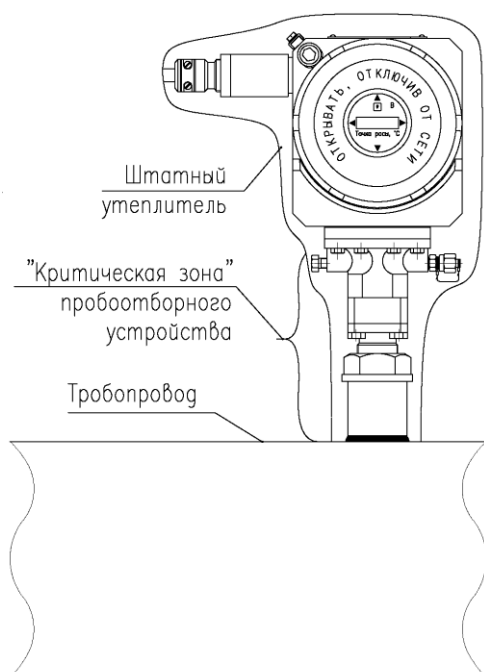


Рисунок 3.8.

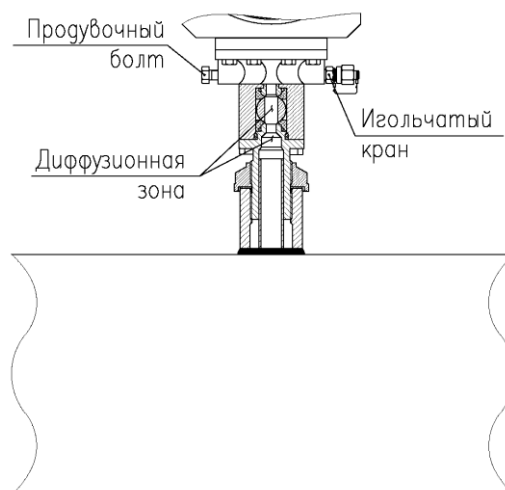


Рисунок 3.9.

Проверка уровня загрязненности ЧЭ датчика и его чистка

При загрязнении ЧЭ датчика на индикаторе прибора появляется сообщение об ошибке **Err 04**.

При проведении технического обслуживания, связанного с загрязнением ЧЭ, может быть использован сервисный режим работы прибора.

Использование этого режима обеспечивает наглядность и повышает качество процесса чистки ЧЭ. Фактически на индикатор прибора выводится текущий уровень фотосигнала, что позволяет в процессе чистки оценивать состояние ЧЭ, поскольку величина уровня фотосигнала напрямую зависит от чистоты поверхности ЧЭ.

Для проведения чистки ЧЭ необходимо выполнить следующие операции:

- отключить питание прибора;

- закрыть кран подачи газа в измерительную камеру;
- стравить газ;
- выкрутить восемь крепежных болтов 10 и осторожно снять прибор с газоподвода;
- включить питание прибора;
- после появления на индикаторе сообщения **Err 04**, вывести прибор из режима индикации ошибки **Err 04**, воздействуя на правую магнитную кнопку;
- войти в режим «TEST»;
- мягкой кистью, смоченной в спирте, промыть чувствительный элемент, соблюдая максимальную осторожность;
- контроль эффективности чистки производить по уровню фото сигнала в % от уровня чистого датчика, принятого за 100%, который высвечивается на индикаторе прибора наряду с температурой ЧЭ;



- чистый ЧЭ должен иметь уровень фотосигнала, равный или близкий к 100%;

Примечание. В связи с повышением механической прочности новой конструкции датчика, снизилась вероятность повреждения "зеркала", которым является изгиб кварцевого оптического волокна при его чистке.

Поэтому, если стандартная процедура чистки с помощью кисти, смоченной в спирте, не приносит положительных результатов, рекомендуем для чистки зеркала использовать обычный канцелярский ластик (желательно мягкий и без абразивных включений). Небольшой кусок ластика следует зажать пинцетом и с небольшим усилием несколько раз провести по "зеркалу".

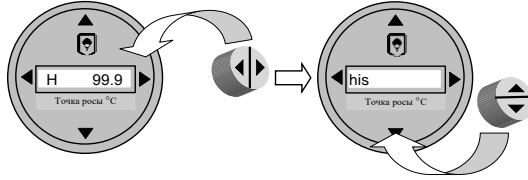
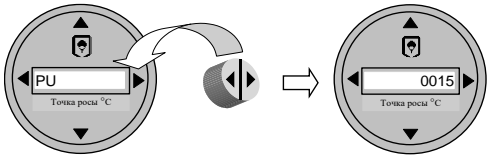
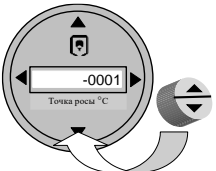
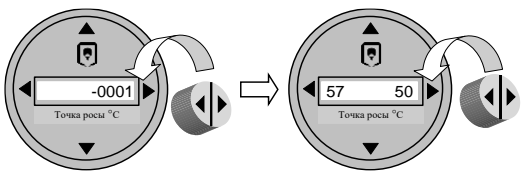
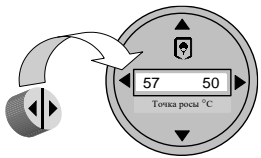
Однако, при чистке также следует соблюдать осторожность так как остается вероятность повреждения открытой от металлизации части, представляющей собой кварцевое стекло.

Перестройка уровня индикации загрязнения

В процессе эксплуатации прибора возможен случай, когда уровень фотосигнала при промывке ЧЭ не удастся поднять до первоначального (100%). В этом случае возможна перестройка критерия загрязненности ЧЭ прибора, при котором за 100% принимается текущее значение фотосигнала после промывки.

Для перестройки критерия загрязненности датчика необходимо

выполнить следующие действия:

Действие	Результат
1. Снять перемычку между клеммами 4 и 5, находящуюся под задней крышкой	
2. Войти в основное меню, воздействуя магнитным ключом на правую магнитную кнопку. Затем, воздействуя на нижнюю магнитную кнопку, выбрать пункт « PU »	
3. Воздействовать на правую кнопку. При этом на индикаторе прибора появится число, например « 0015 »	
4. Воздействием на нижнюю кнопку установить на индикаторе любое отрицательное число (например « -0001 »)	
5. После этого воздействовать на правую магнитную кнопку. При этом прибор войдет в режим, аналогичный режиму « TEST », и на индикаторе появится значение температуры чувствительного элемента и уровня фотосигнала в %	
6. После прогрева чувствительного элемента до 50°C выйти в основное меню прибора, воздействуя на левую кнопку, в результате чего изменится критерий загрязненности чувствительного элемента преобразователя точки росы « КОНГ-Прима-2 ».	
7. Установить перемычку между клеммами 4 и 5	

Если после чистки зеркала степень чистоты менее 10% или ниже 500 условных единиц АЦП, то требуется ремонт прибора.

Тема 3.2. Регистрирующее устройство и терминальная программа «Трасса».

Устройство регистрирующее «Трасса» (далее по тексту – Трасса) относится к дополнительному оборудованию, которое может поставляться совместно с ПТР «КОНГ-Прима-2». Трасса представляет собой устройство регистрации и хранения данных с прибора. К одной Трассе можно

подключить преобразователь точки росы «КОНГ-Прима-2», датчик давления и датчик температуры.

Данные, хранящиеся в Трассе, считываются на компьютер при помощи терминальной программы. Терминальная программа должна быть предварительно инсталлирована на компьютер. Терминальная программа работает под оболочкой Windows.

Для подключения компьютера к Трассе используется кабель, входящий в комплект поставки Трассы.

Терминальная программа имеет возможность пересчёта измеренной точки росы при рабочем давлении на нормируемое давление. Т.е. точку росы, измеренную прибором при давлении, например, 6,0 МПа, можно пересчитать на давление 4,0 МПа.

Для автоматического пересчёта к Трассе необходимо подключить датчик давления. Трасса рассчитана на подключение датчика давления с диапазоном измерения 0,1...10 МПа и токовым выходом 4...20 мА; длина кабеля между Трассой и датчиком давления (а также между Трассой и прибором) не должна превышать 1 км.

Возможность подключения датчика температуры реализована как чисто сервисная функция. Температура не участвует в каких-либо расчётах терминальной программы и не влияет на измеряемую прибором точку росы.

Если же потребитель намерен подключить датчики температуры к Трассе, то следует учесть следующие моменты:

- Трасса рассчитана на подключение термопреобразователей сопротивления Pt100; преобразователи подключаются по трёхпроводной схеме;
- датчики температуры должны быть тщательно проверены на предмет утечек тока на корпус;
- кабель для подключения термопреобразователей должен быть хорошо защищён от влияния наводок от силовых кабелей;
- максимальная длина линии связи по каналам температуры – не более 300 м.

Отклонение от этих рекомендации может привести к большим погрешностям в показаниях Трассы, как по каналу температуры, так и по другим измерительным каналам.

В настоящее время производятся регистраторы модели 02, который может работать в следующих режимах:

Режим	Обновление индикации	Интервал регистрации	Длительность хранения
аналоговый	6 мин	6 мин	179 час
аналоговый среднечасовой	6 мин	1 час	1700 час
цифровой	3..20 мин ⁽¹⁾	3..20 мин ⁽¹⁾	89..580 час ⁽¹⁾
цифровой среднечасовой	3..20 мин ⁽¹⁾	1 час	1700 час
цифровой расширенный	3..20 мин ⁽¹⁾	3..20 мин ⁽¹⁾	43..290 час ⁽¹⁾

Режим определяется способом передачи информации о точке росы (аналоговый или цифровой), режимом регистрации данных (синхронно с измерением или среднечасовой), количеством регистрируемых параметров (базовые режимы или расширенный режим).

Цифровые режимы обеспечиваются при подключении преобразователя «Конг-Прима-2» с версией программного обеспечения не ниже 4Х.ХХ.

Регистратор автоматически переходит в цифровой режим работы, когда (и если) ПТР начинает передачу своих данных в цифровой форме по выходной цепи вывода значения точки росы. В каждом пакете данных передаётся:

- измеренное значение точки росы;
- код состояния;
- серийный номер;
- четыре калибровочных коэффициента ПТР.

Регистратор в расширенном режиме принимает от ПТР следующие данные:

- измеренное значение точки росы;
- код состояния;
- серийный номер;
- четыре калибровочных коэффициента;
- шесть температур;
- величину фотосигнала.

Эти данные передаются в цифровом виде по каналу измерения точки росы.

Для того чтобы перевести регистратор в режим расширенного приема данных нужно при помощи магнитного ключа вывести на индикатор регистратора номер версии программы «РЕГ 6.19». Затем на несколько секунд включить магнитным ключом кнопку "Б". При этом под буквой «Р» должна появиться метка. Для того чтобы выключить режим расширенного приема данных нужно при помощи магнитного ключа вывести на индикатор регистратора номер версии программы «РЕГ 6.19». Затем на несколько секунд включить магнитным ключом кнопку «Б». При этом под буквой «Р» метка должна погаснуть.

Терминальная программа «Трасса»

Терминальная программа «Трасса» предназначена для работы в среде Windows 98. Программа также работоспособна в Windows 2000 и Windows XP, но стабильная работа в этих системах не гарантируется.

«Трасса» - это программа, при помощи которой можно выполнить следующие функции:

- организовать данные в виде именованных объектов, хранимых в базе данных программы;
- снять данные с регистратора и записать их в базу данных;
- выполнять пересчет значений точки росы, измеренные при рабочем давлении, в значения, соответствующие контрактному давлению;

- выполнять пересчет значений точки росы ($^{\circ}\text{C}$) в единицы абсолютной влажности ($\text{г}/\text{м}^3$);
- синхронизировать системное время регистратора и компьютера;
- просматривать данные по каждому объекту на экране монитора в формате таблицы или в виде графиков;
- подготовить и напечатать на принтере простой отчет, содержащий выбранные данные;
- подготовить выбранные данные в виде графиков и вставить их в любой текстовый документ Microsoft (Write, Word);
- экспортировать данные в программу Microsoft Excel.

Для работы с программой необходимо запустить инсталлятор «trassa.exe» с дистрибутивного диска из комплекта поставки регистратора «Трасса» и следуя указаниям программы установить ее на компьютер.

После вызова «Трассы» (пункт «Программы» меню «Пуск») на экране монитора появляется **Главная диалоговая панель** (рис.3.10), при помощи которой реализуется управление всеми функциями программы.

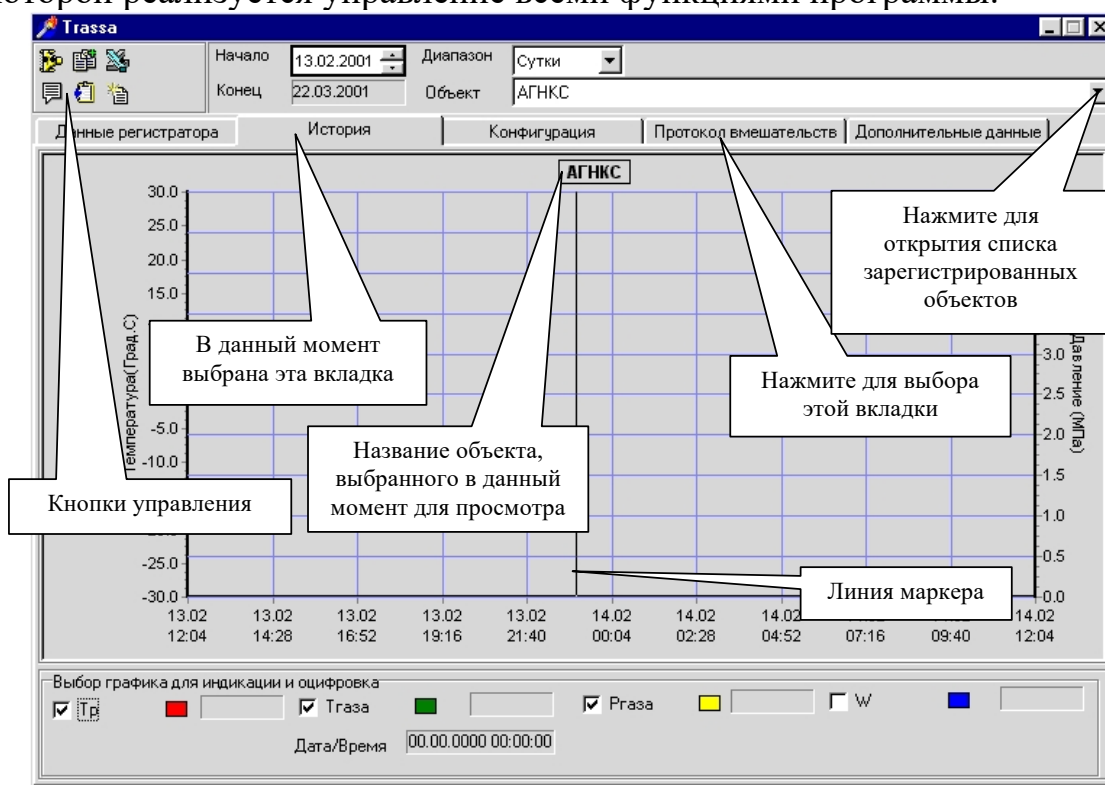


Рисунок 3.10. – Главная диалоговая панель
Снятие данных с регистратора «Трасса».


Прежде чем выполнить операцию съема данных необходимо при помощи специального кабеля, входящего в комплект поставки регистратора, соединить последовательный порт компьютера с регистратором.



Кнопка «Чтение данных с регистратора»

На главной панели нажмите кнопку «Чтение данных с регистратора». На экране монитора откроется специальное окно для управления процессом съема данных. Выберите номер порта и нажмите кнопку «Выполнить».

Когда чтение данных будет закончено, станет доступной кнопка «Выход». При нажатии на эту кнопку окно «Чтение данных» будет закрыто, а снятые данные будут занесены в панель «Данные регистратора».

Для занесения снятых данных в базу данных программы «Трасса», нажмите кнопку  «Запомнить» на панели управления. Если данные с регистратора сняты впервые, то появится окно «Регистрация устройства».

Регистрация - это установка однозначного соответствия между серийным номером регистратора (регистрирующего устройства «Трасса») и присвоенным ему наименованием (Псевдонимом).

Просмотр данных, снятых с регистратора

В программе есть несколько режимов просмотра данных:

- просмотр данных, снятых с регистратора – вкладка «Данные регистратора»,
- просмотр накопленной базы данных – вкладка «История»,
- просмотр протокола вмешательств – вкладка «Протокол вмешательств»,
- просмотр накопленной базы данных расширенного режима регистратора – вкладка «Дополнительные данные».

Для выбора режима просмотра укажите на нужную вкладку курсором мыши и щелкните левой кнопкой. После выбора режима просмотра, выберете интересующий Вас объект:

Значения точки росы, температуры и давления газа, коды состояния регистратора и "КОНГ–Прима–2" сведены в таблицу с соответствующими заголовками. При перемещении по строкам этой таблицы («стрелка вниз» и «стрелка вверх» на клавиатуре) приводится расшифровка кодов состояния регистратора и "КОНГ–Прима–2" для выбранной в данный момент строки. Если выбранная в данный момент строка имеет расширенный режим регистрации, то под таблицей будут показаны дополнительные данные. Дополнительные данные – это «история» замера преобразователя точки росы "КОНГ–Прима–2", которая выводится при просмотре пункта меню «**HIS**».

Смысл данных и порядок их следования полностью соответствуют пункту меню «**HIS**» преобразователя точки росы "КОНГ–Прима–2".

Пересчет измеренных значений точки росы

«Трасса» выполняет пересчет значений точки росы, измеренных при рабочем давлении, в значения, соответствующие контрактному давлению, и выполняет пересчет значений точки росы (°C) в значения абсолютной влажности (г/м³). Пересчет ведется по одному из двух вариантов:


- ГОСТ 20060-83 «Методы определения содержания водяных паров и точки росы влаги»;
- «ТАБЛИЦЕ для определения значения температуры точки росы влаги природного газа, приведенных к давлению 3,92МПа, и концентрации водяных паров», утвержденной ОАО «Газпром» и НАК «Нефтегаз Украины», разработанной в соответствии с ГОСТ 20060-83.

Переключение на пересчет по ГОСТ 20060-83 или по «Таблицам...» осуществляется при активизации вкладки «Конфигурация» на главной диалоговой панели (см. рис.3.10).

На вкладке «Конфигурация» можно также выбрать значение контрактного часа. Значение контрактного давления изменению не подлежит и составляет 3,92МПа (40кгс/см²).

Просмотр архивов данных

В графическом виде (вкладка «История») «Трасса» отображает данные выбранного объекта в виде графиков точки росы, температуры и давления газа, а также влагосодержания. Влагосодержание – это значение, вычисляемое программой по значениям точки росы и давления. При наличии кода регистратора «Ошибка измерения давления», влагосодержание не вычисляется.






Для просмотра данных в виде таблицы, необходимо нажать кнопку «Формирование отчета» . После этого откроется окно «Построение отчета»), в котором данные представлены в виде таблицы. Кроме данных, снятых с регистратора, в таблице присутствуют два вычисленных параметра – влагосодержание и точка росы, приведенная к контрактному давлению. Эти параметры вычисляются программой по значениям точки росы и давления только в том случае, если оба эти значения достоверны. Достоверность данных определяется по кодам состояния регистратора и "КОНГ–Прима–2".

ПРОСМОТР ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ

Дополнительные данные – это «история» замера преобразователя точки росы "КОНГ–Прима–2", которая выводится при просмотре пункта меню «HIS». Регистратор запоминает дополнительные данные только в режиме «Расширенный режим регистрации». Для просмотра дополнительных данных выберите вкладку «Дополнительные данные» (рисунок 3.11).

При запуске «Трассы» график дополнительных отключен, для подключения нужно установить флажок «График доп. данных» на вкладке «Конфигурация».

Линейка «Набор инструментов выполняет следующие функции:

	– Перемещает графики вверх
	– Увеличивает масштаб отображения графиков по вертикальной оси
	– Возвращает первоначальный масштаб по вертикальной оси
	– Уменьшает масштаб отображения графиков по вертикальной оси
	– Перемещает графики вниз
>	– Перемещает графики вперед к следующему временному интервалу

<	– Перемещает графики назад к предыдущему временному интервалу
»	– Перемещает графики назад к конечному временному интервалу
«	– Перемещает графики назад к начальному временному интервалу



Рисунок 3.11 – Вкладка «Дополнительные данные»

Настройка диапазонов считываемых данных

Настройка регистратора заключается в задании пределов измерения точки росы и давления в соответствии с паспортом КРАУЗ.038.013-14ПС.

На главной панели нажмите кнопку «Чтение данных с регистратора». На экране монитора откроется окно «Чтение данных с прибора». Выберите номер порта и нажмите кнопку «Диапазон». На экране монитора откроется окно «Редактор диапазона», в котором отображены текущие настройки регистратора и список всех возможных. Для изменения текущих настроек выберите из списка нужные Вам и закройте окно «Редактор диапазона».

Тема 4. Анализатор точки росы по влаге и углеводородам «КОНГ-Прима-4».

Анализатор предназначен для измерения температуры точки росы (далее по тексту – ТТР, точка росы) влаги и ТТР углеводородов в природном газе или других газах при рабочем давлении.

Анализатор предназначен:

- для контроля точек росы влаги и углеводородов на

газоизмерительных станциях, на станциях подземного хранения и осушки природного газа, на автомобильных газонаполнительных компрессорных станциях и т.д.;

- для поверки гигрометров и генераторов влажного газа.

Анализатор, в зависимости от допускаемых пределов абсолютной погрешности при измерении точки росы, используется в качестве:

- рабочего средства измерений ТТР влаги и ТТР углеводородов в природном газе;
- эталонного средства измерений, используемого для градуировки и поверки рабочих средств измерений ТТР влаги и генераторов влажности, имеющих абсолютную погрешность измерения точки росы $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ и выше.

При измерении точки росы используется конденсационный метод. Сущность метода заключается в измерении температуры, до которой необходимо охладить прилегающий к охлаждаемой поверхности слой влажного газа, для того, чтобы довести его до состояния насыщения при рабочем давлении. Метод соответствует ГОСТ 20060 «Газы горючие природные. Методы определения содержания водяных паров и точки росы влаги» и ГОСТ 20061 «Газы горючие природные. Метод определения температуры точки росы углеводородов».

Анализатор производится в двух исполнениях.

Внешний вид анализатора точки росы в исполнении КРАУ2.844.003 изображен на рисунке 1.

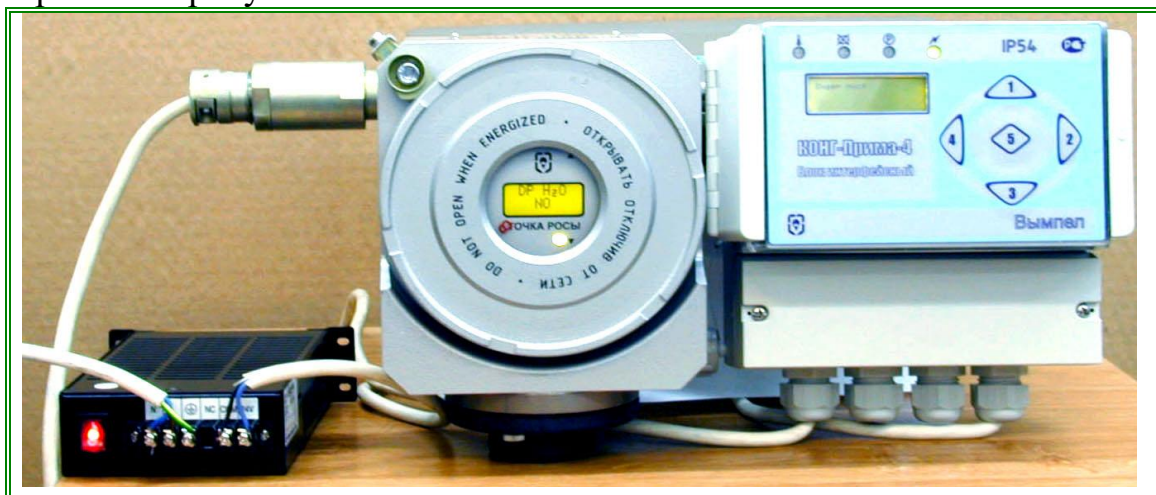


Рисунок 1 - Внешний вид анализатора точки росы в исполнении КРАУ2.844.003

(слева–направо: блок питания, ПТР без газоподвода, интерфейсный блок)

Анализатор в исполнении КРАУ2.844.003-02 отличается наличием (вместо интерфейсного блока) Центрального управляющего блока. Внешний вид ЦУБ анализатора в исполнении КРАУ2.844.003-02 показан на рисунке 2.



Рисунок 2 – Общий вид ЦУБ

ЦУБ анализатора выполнен в виде модуля, встраиваемого в 19 дюймовую стойку конструктива Евромеханика в соответствии с МЭК 29.

ИБ (ЦУБ) в составе анализатора выполняет следующие функции:

- управление процессом измерения в ПТР и обработка результатов измерения;
- управление работой дополнительной ступени охлаждения;
- настройка параметров процессов.

Преобразователи точки росы, входящие в состав анализатора выполнены во *взрывозащищенном исполнении* с видами взрывозащиты: «взрывонепроницаемая оболочка» по ГОСТ Р 51330.0, ГОСТ Р 51330.1 (ГОСТ 22782.0, ГОСТ 22782.6 – при поставках в Украину) и «специальный» по ГОСТ 22782.3 Маркировка взрывозащиты 1ExsdIIAT5. Преобразователи могут устанавливаться во взрывоопасных зонах помещений и наружных установок согласно главе 7.3 ПУЭ (для России), гл. 4 ДНАОП 0.00-1.32-01 (для Украины) и другим нормативным документам, регламентирующим применение электрооборудования во взрывоопасных зонах.

Интерфейсный блок предназначен для эксплуатации *вне взрывоопасных зон*.

Функционально ПТР состоит из трех законченных узлов:

- датчика первичной информации (ДПИ);
- блока электроники (БЭ);
- газоподвода.

ДПИ предназначен для реализации режимов охлаждения, стабилизации и нагрева по командам с БЭ, а также для выдачи в БЭ электрических сигналов, соответствующих температуре и уровню фотосигнала.

ДПИ является оптоволоконным преобразователем и обеспечивает измерение значений выходного сигнала при появлении или исчезновении влаги на его чувствительном элементе. Конструкция ДПИ аналогична конструкции ДПИ ПТР «КОНГ-Прима-2».

В зависимости от типа газоподвода ПТР имеет ряд конструктивных исполнений:

- ПТР в исполнении КРАУ2.848.001, с погружным газоподводом, предназначен для монтажа непосредственно на трубопроводе;
- ПТР в исполнении КРАУ2.848.001-01, с проточным газоподводом, предназначен для подключения к трубопроводу по проточной схеме,

например, через систему подготовки газа КРАУ2.848.002 или КРАУ2.848.003. В комплекте с системой подготовки газа КРАУ2.848.002 ПТР может использоваться для измерения точки росы до минус 30°C при рабочем давлении до 10 МПа. В комплекте с системой подготовки газа КРАУ2.848.003 (с дополнительным охлаждением) ПТР может использоваться для измерения точки росы до минус 50°C при рабочем давлении до 10 МПа или для измерения точки росы в газе со значительным количеством высших углеводородов;

- ПТР в исполнении КРАУ2.848.001-02, в отличие от ПТР КРАУ2.848.001-01 имеет повышенную прочность элементов конструкции ПТР, что позволяет использовать его при максимальном рабочем давлении до 25МПа. Кроме этого, датчик ПТР теплоизолирован от корпуса. Это позволяет более эффективно охлаждать датчик ПТР при использовании его в комплекте с системой подготовки газа КРАУ2.848.003 и исключить конденсацию влаги на корпусе ПТР (это актуально в местах с высокой влажностью окружающего воздуха).

Для подключения к измерительно-информационным системам в анализаторе предусмотрены:

- последовательный интерфейс RS232;
- последовательный интерфейс RS485;
- аналоговые выходы 4-20 мА;
- дискретные выходы.

Последовательный интерфейс RS232. Этот порт используется для подключения терминального компьютера, с помощью которого осуществляется:

- считывание архивов данных из встроенной памяти анализатора;
- изменение калибровочных коэффициентов и системных настроек анализатора;
- визуализация процессов конденсации-испарения при измерении точки росы.

Разъем для подключения компьютера расположен на передней панели ЦУБ. Этот порт может быть использован для передачи измерительной информации на внешний компьютер по протоколу КРАУ2.844.003Д31 (ModBus/RTU). Интерфейс гальванически изолирован, напряжение изоляции – 500 В постоянного тока.

Последовательный интерфейс RS485 (№1). Этот порт используется для передачи измерительной информации на внешний компьютер по протоколу КРАУ2.844.003Д31 (ModBus/RTU). Гальваническая изоляция - 500 В постоянного тока.

Примечание: обмен информацией между ИБ (ЦУБ) и внешним компьютером в текущий момент времени может осуществляться по одному из

интерфейсов RS232 или RS485(№1). Переключение на соответствующий интерфейс должно быть выполнено до начала обмена в меню ЦУБ.

Последовательный интерфейс RS485 (№2). Этот порт используется для обмена информацией между ЦУБ и ПТР. Интерфейс не имеет гальванической изоляции.

Аналоговые выходы 4-20 мА. Количество выходов – два. На эти выходы выдаются измеренные значения точки росы по влаге и углеводородам. Максимальное сопротивление нагрузки на каждом выходе не должно превышать 400 Ом. Выход – активный, т.е. питание его осуществляется от встроенного в ЦУБ источника питания. Гальваническая изоляция - 500 В постоянного тока, между собой выходы не изолированы.

Дискретные выходы. Количество выходов – восемь. Семь выходов используются для формирования сигналов «Внимание» и «Предупреждение» (о назначении и критериях их формирования см. ХХХ), которые предназначены для передачи в АСУ ТП. В качестве коммутирующих элементов используются электронные ключи с нагрузочной способностью 30 В, 150 мА. Восьмой выход используется для управления электромагнитным клапаном системы подготовки газа КРАУ2.848.003. Гальваническая изоляция всех выходов – 500 В постоянного тока.

Физический метод фиксации конденсата на поверхности чувствительного элемента

В качестве конденсационного зеркала используется оптическое волокно, по которому распространяется свет от источника света к приёмнику света (рис. 3). Оптическое волокно должно быть чувствительно к изменению показателя преломления внешней среды *на ограниченном участке*, т.е. в том месте, где происходит его охлаждение. В этом случае при отсутствии на охлаждаемом участке волокна конденсата потерь света не происходит. Тогда как при выпадении конденсата значительная часть света выходит наружу, что приводит к снижению тока приёмника света.

Измеряемая в этот момент термодатчиком температура в непосредственной близости от волокна и принимается за температуру точки росы. Для реализации этого способа фиксации момента появления конденсата, необходимо решить главную задачу - обеспечить чувствительность оптоволокна на ограниченном участке.

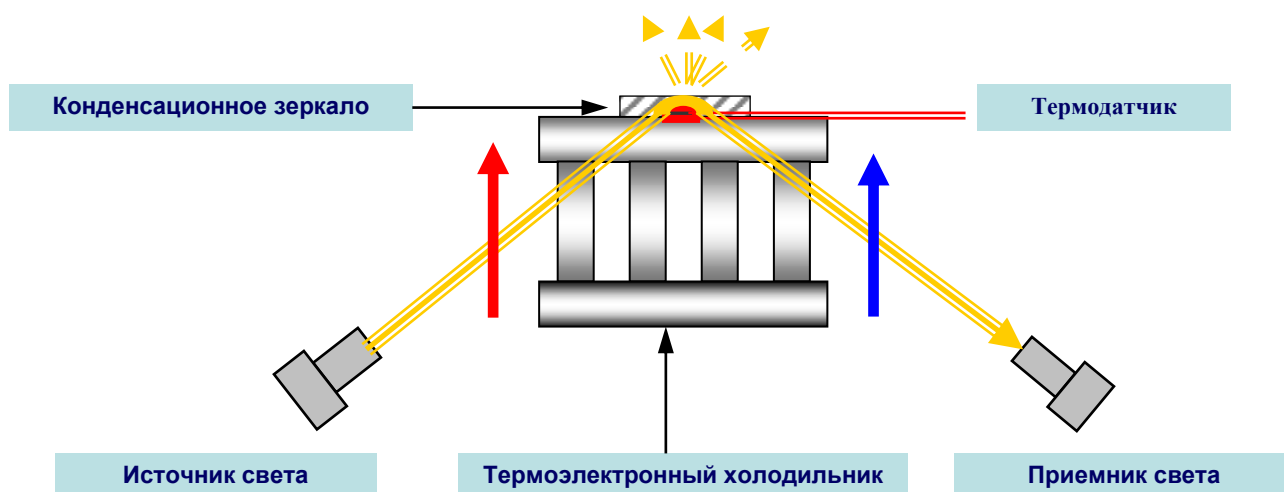


Рисунок 3. - Оптическая схема гигрометра, построенная по принципу нарушения полного внутреннего отражения

Кратко остановимся на законах оптики, лежащих в основе оптоволоконной технологии. Известно, что в разных средах луч света распространяется с разной скоростью. Максимальная скорость света - в вакууме, а при повышении плотности среды скорость света уменьшается. Попадая на границу двух прозрачных сред, луч света частично отражается, частично преломляется. Угол отраженного луча равен углу падающего, а угол преломленного луча зависит от соотношения показателей преломления сред (углы измеряются от нормали к поверхности). Согласно закону Снеллиуса (см. рисунок 4), произведения синуса угла падающего и преломленного луча на соответствующие показатели преломления сред равны.

Поставим теперь условие, чтобы преломленный луч не проникал во вторую среду, а двигался вдоль границы их раздела.

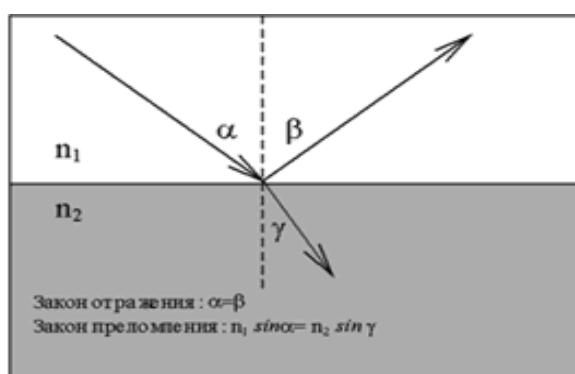


Рисунок 4. – Иллюстрация закона преломления Снеллиуса

Принимая $\gamma=90^\circ$, можно вычислить так называемый *критический угол*:

$$\sin \alpha_{кр} = \frac{n_1}{n_2} \quad (1)$$

Формула (1) показывает наличие "эффекта полного отражения", на котором и основана оптоволоконная технология. Эффект состоит в том, что *луч, попавший на границу двух сред (первая из которых должна иметь больший показатель преломления, чем вторая) под углом, большим критического, полностью отражается*. Если же луч не просто попадает на границу двух сред, а проходит в цилиндрическом световоде (оптоволокне) между параллельными стенками, то при угле входа больше критического, он останется в сердцевине световода (рисунок 5.).

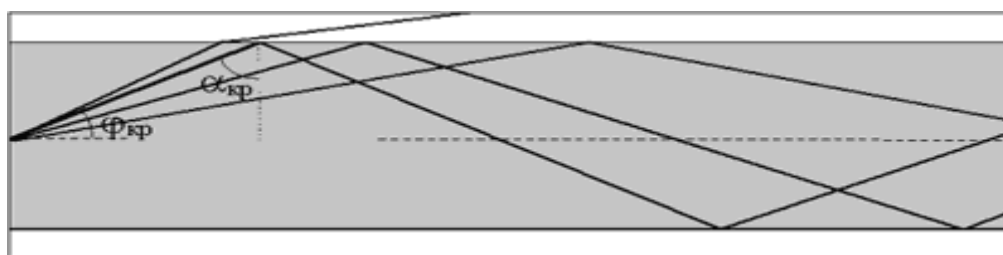


Рисунок 5. - Распространение света по световоду, основанное на эффекте полного внутреннего отражения

В этом случае, внешняя (вторичная) оболочка световода не чувствительна к изменению физических свойств (коэффициента преломления) внешней среды, поскольку весь световой поток проходит по сердцевине световода. Для того чтобы вывести световой поток в нужном месте во вторичную оболочку световода необходимо в этом месте создать условия для нарушения закона полного внутреннего отражения. Например, можно изогнуть световод таким образом, чтобы угол падения лучей оказался меньше критического.

Для реализации этой идеи было использовано многомодовое кварцевое оптическое волокно со следующими параметрами:

- диаметр сердцевины волокна $d_1=50$ мкм;
- диаметр вторичной оболочки $d_2=125$ мкм;
- коэффициент преломления сердцевины - $n_1=1,458$;
- коэффициент преломления вторичной оболочки - $n_2=1,443$.

Критический радиус изгиба световода, с вышеуказанными техническими характеристиками, при котором нарушаются условия полного внутреннего отражения, рассчитывается по следующей формуле:

$$R_{кр} = \frac{r_1}{2 \cdot n_1 \cdot \Delta n} \quad (2)$$

где r_1 - радиус изгиба сердцевины;

n_1 - коэффициент преломления сердцевины;

Δn - разница коэффициентов преломления сердцевины и оболочки.

Подставив в формулу (2) значения $r_1=d_1/2=0,025$ мм, $n_1=1,458$ и $\Delta n=n_1-n_2=0,015$, получим $R_{кр}=0,57$ мм. Таким образом, если на определённом участке световода будет образован изгиб с радиусом кривизны, менее 0,57 мм, то на участке изгиба световой поток выйдет во вторичную оболочку. И именно на этом участке вторичная оболочка световода будет чувствительна к изменению коэффициента преломления внешней среды.

Следовательно, оптическое волокно можно использовать как для подвода световой энергии, так и для регистрации изменения показателя преломления внешней, контактирующей с изгибом световода среды.

Если ввести в оптическое волокно свет от какого-либо излучателя, а на выходе поставить фотодетектор, то при отсутствии конденсата на изгибе волокна, в нем сохраняется эффект полного внутреннего отражения, т.е. свет, отражаясь от границы вторичной оболочки волокна - газ (воздух, метан) возвращается обратно в сердцевину с минимальными потерями. Тогда как при охлаждении изгиба волокна и выпадении на нем конденсата коэффициент преломления газа, контактирующего с изгибом волокна, изменяется, и значительная часть света выходит наружу, что приводит к снижению тока фотодетектора. Температура изгиба волокна (измеряемая датчиком в непосредственной близости от изгиба) может в первом приближении принята за температуру точки росы.

При такой конструкции конденсационного зеркала, которым и является изгиб оптоволокну, анализируется физическое состояние среды не снаружи, как это делается в приборах, построенных по принципу рассеивания, а изнутри, поскольку в этом случае вторичная оболочка изгиба волокна является не только регистрирующим наличие конденсата элементом, но и одновременно и конденсационным зеркалом.

Реализация предложенного способа в виде датчика первичной информации

Основной проблемой при изготовлении ПИП было изготовление изогнутого оптического волокна. Исходя из вышеприведённых расчётов по формуле (2), для обеспечения нарушения полного внутреннего отражения, радиус изгиба волокна должен быть менее 0,57 мм. На практике, однако, минимально допустимый радиус изгиба определяется, учитывая механические свойства волокна. Если волокно изогнуто столь сильно, что поверхностные напряжения превысят 0,2 %, то весьма вероятно [51], что в процессе эксплуатации в нем возникнут микротрещины и впоследствии это может привести к механическому разрушению волокна. Чтобы эти напряжения не превысили 0,2 %, радиус изгиба волокна должен быть больше:

$$R_i > \frac{r_2}{0,002} = 500 \cdot r_2 \quad , \quad (3)$$

где R_i - допустимый радиус изгиба оптоволокна;

r_2 - радиус вторичной оболочки оптоволокна.

Подставив в формулу (3) значение $r_2=62,5\text{мкм}$, получим, что R_i должен быть больше 31250 мкм или 31,25 мм. Отсюда очевидно, что приемлемый с механической точки зрения радиус изгиба значительно больше минимально необходимого $R_c<0,57\text{мм}$. Для решения задачи резкого уменьшения механических напряжений при изгибе кварцевого оптоволокна был разработана оригинальная технология изгиба, удовлетворяющего требованиям нарушения полного внутреннего отражения и позволяющая избежать появления микротрещин. Эта технология основана на разогреве оптического волокна в локальной зоне до температуры размягчения ($\sim 1200\text{-}1300^\circ\text{C}$, - примерно на $\sim 200^\circ\text{C}$ ниже температуры). При достижении этой температуры световод изгибают до минимально возможного радиуса. Эта технология позволила получить изгиб, минимальным радиусом до 0,3 мм, что удовлетворяет условию $R_c<0,57\text{мм}$.

Далее остановимся на обосновании выбора основных элементов ПИП.

Выбор материала оптического волокна - кварца обусловлен требованием повышенной стойкости к воздействию внешней среды (воздух, азот, метан) и состава конденсирующихся компонентов (метанол, гликоль, углеводороды).

Основным критерием выбора термодатчика послужили его габаритные размеры, т.к. для снижения погрешности измерения от градиентов температур он должен быть соизмерим с изгибом оптоволокна. В результате был выбран полупроводниковый термистор (10К3А1, фирмы BetaTHERM), обладающий не только миниатюрными габаритными размерами ($\text{Ø } 0,5\text{ мм}$, $L=2,2\text{ мм}$), но и долговременной стабильностью характеристик (смещение температурной характеристики не более $0,5^\circ\text{C}$ в течение 10 лет). Постоянная времени термодатчика 300мс.

Определяющими условиями при выборе охлаждающего элемента были: низкое энергопотребление и высокий КПД. Эту задачу удалось решить благодаря миниатюрным размерам элементов подлежащих охлаждению - изгиба оптоволокна и термистора. В качестве охлаждающего элемента была выбрана трёхкаскадная термоэлектронная батарея (ТЭБ), построенная на элементах Пельтье, обеспечивающая максимальный перепад температур между холодной и горячей гранью не менее 125°C (при минимальном теплопритоке) при потребляемой электрической мощности - не более 12 Вт и размерами холодной грани 3x4 мм.

Объединение основных элементов ПИП (изгиб оптоволокна, термистор и ТЭБ) в единый измерительный узел позволило получить миниатюрное

конденсационное зеркало, площадью менее $0,25 \text{ мм}^2$, что более чем на два порядка меньше чем у других конденсационных приборов. На рассматриваемую конструкцию в совокупности с возможностью измерения точек росы без принудительного потока исследуемого газа над конденсационным зеркалом, был получен патент на изобретение [48]. Внешний вид ПИП и конденсационного зеркала приведён на рисунке 6.

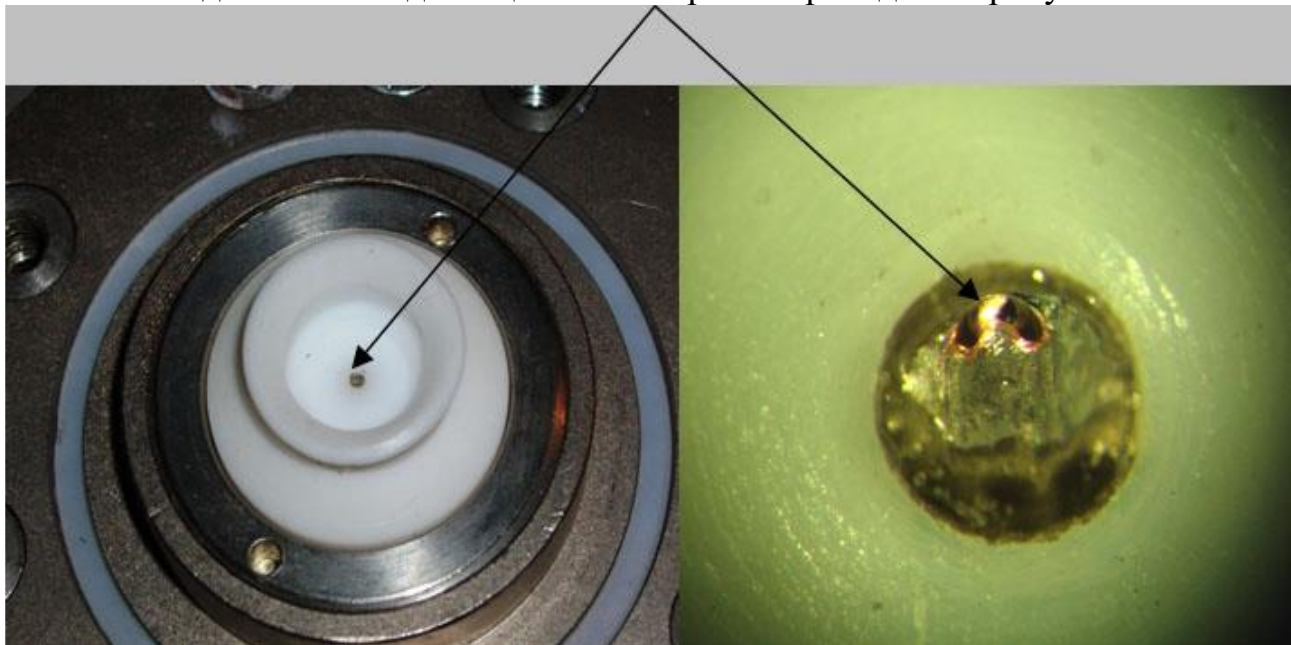


Рисунок 2.4. - Внешний вид конденсационного зеркала (изгиба оптоволокна)

Вышеизложенный новый методологический подход к реализации конденсационного метода измерения точки росы имеет следующие преимущества:

1. Высокие динамические характеристики, позволяющие охлаждать и нагревать конденсационное зеркало с высокой скоростью и минимальным градиентом температур (в силу миниатюрности конденсационного зеркала);
2. Существенное повышение чувствительности определения начала появления плёнки конденсата (чувствительности волоконно-оптического элемента), при этом появляется возможность проводить измерения практически без принудительного расхода газа через измерительную камеру;
3. Существенно снизить габаритно - массовые характеристики гигрометра и его энергопотребление.

Реализация этих преимуществ позволила разработать методику управления процессами охлаждения и нагрева конденсационного зеркала. Это в совокупности с высокой чувствительностью волоконно-оптической схемы регистрации позволило разработать обобщенный алгоритм измерения точки росы по влаге в природном газе с любым компонентным составом и точки росы по углеводородам.

Принцип работы ДПИ при определении точек росы газа природного газа

В промышленных природных газах (прошедших промысловую и/или заводскую обработку) содержатся как углеводороды, так и пары воды. Поэтому ниже остановимся на принципах их измерения анализатором.

Измерение точки росы по влаге

Измерение точки росы по влаге в присутствии ранее конденсирующихся углеводородов проводится с использованием быстрого охлаждения и нагрева конденсационного зеркала ДПИ со скоростью $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$. Высокая скорость позволяет сократить время нахождения чувствительного элемента (зеркала) в условиях конденсации углеводородов и, следовательно, ограничить накопление углеводородов, что создает более благоприятные условия для прорыва воды через пленку углеводородов (т.е. реализации так называемого эффекта избирательного смачивания).

На рисунке 7 в графическом виде представлен трек, снятый с ПК при работе анализатора в режиме визуализации. Этот трек характеризует процесс конденсации углеводородов и влаги, характерный для природного газа в магистральных газопроводах, т.е. газа прошедшего все стадии подготовки и соответствующего ОСТ 51.40 - 93 [17] при рабочем давлении в трубопроводе 5,5...7,5 МПа.

Как можно наблюдать на рисунке 7, в процессе охлаждения конденсационного зеркала, на кривой конденсации наблюдается конденсация двух различных фаз: сначала происходит конденсация углеводородов, а затем - влаги. При этом начало конденсации воды характеризуется небольшим подъемом уровня фотосигнала, помеченным на рисунке цифрой 3, что соответствует процессу вытеснения водой плёнки углеводородов, ранее образовавшейся на конденсационном зеркале.

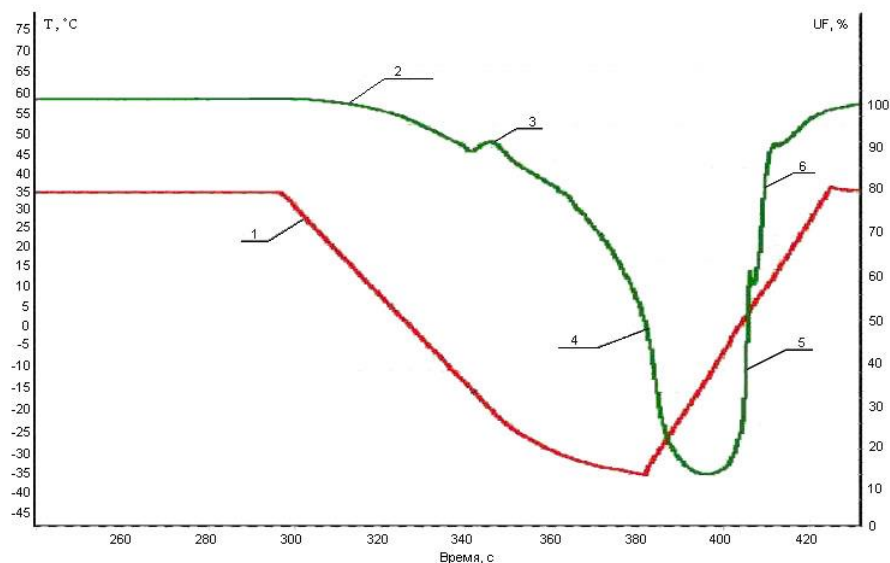


Рисунок 7. - Конденсация влаги в присутствии незначительного количества ранее конденсируемых углеводородов

1 - температура конденсационного зеркала; 2 - текущий уровень фотосигнала; 3 - утоньшение плёнки углеводородов и начало конденсации воды; 4 - процесс интенсивной конденсации воды; 5 - процесс испарения воды; 6 - процесс испарения углеводородов

При нагреве зеркала происходит обратная картина: вначале испаряется влага, а затем - углеводороды. Кроме того, в отличие от воды, сконденсированная пленка углеводородов не приводит к значительному падению фотосигнала, что также является отличительной особенностью конденсации углеводородов. Величина снижения уровня фотосигнала от конденсации углеводородов доходит до 90 %.

На рисунке 8 представлен процесс конденсации влаги в присутствии большого количества тяжелых углеводородов, конденсирующихся до воды.

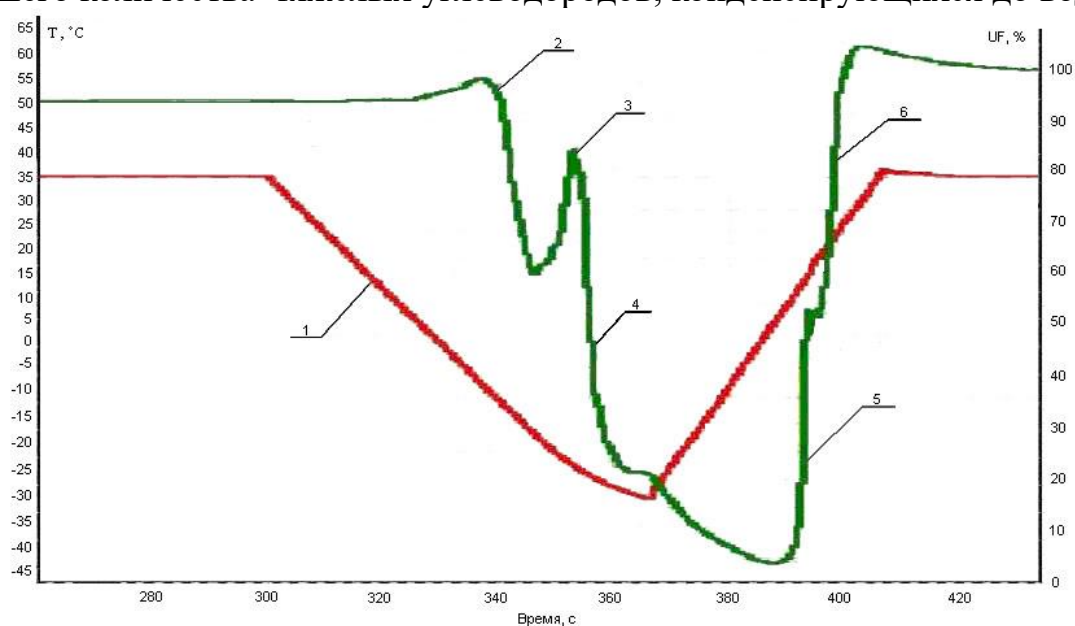


Рисунок 8. - Конденсация влаги в присутствии ранее конденсируемых тяжелых углеводородов

1 - температура конденсационного зеркала; 2 - текущий уровень фотосигнала; 3 - утоньшение плёнки углеводородов и начало конденсации воды; 4 - процесс интенсивной конденсации воды; 5 - процесс испарения воды; 6 - процесс испарения углеводородов.

На рисунке 8 уже в более явном виде просматривается конденсация на зеркале двух различных фракций. При этом скорость конденсации углеводородов сопоставима со скоростью конденсации влаги. Однако, как и в предыдущем случае, сконденсированная пленка углеводородов не приводит к значительному падению фотосигнала, а непосредственно перед конденсацией влаги (точнее, прорыва воды через пленку углеводородов) происходит значительное увеличение фотосигнала. Это объясняется тем, что в отличие от предыдущего случая до момента конденсации воды на конденсационном зеркале накопилось значительно большее количество углеводородов. Таким

образом, при конденсации большого количества тяжелых углеводородов величина фотосигнала снизилась уже до уровня 60 %.

Наиболее сложные условия для дифференцирования углеводородов и влаги характерны для газов с большим количеством углеводородов (природный газ валанжинских залежей, голландский газ и др.). Процесс конденсации влаги в таких газах представлен на рисунке 9.

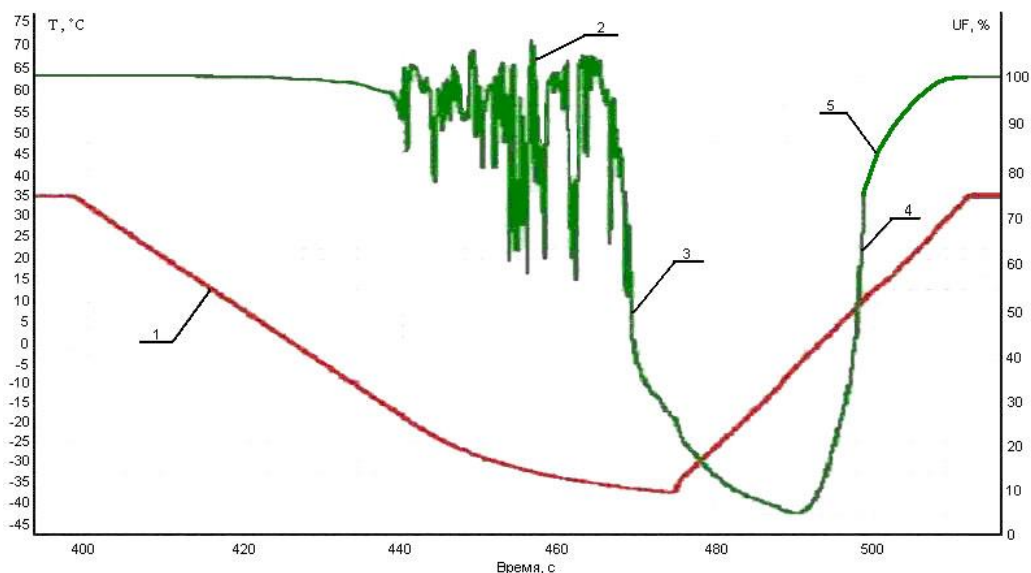


Рисунок 9. - Конденсация влаги в газах с большим содержанием тяжелых углеводородов

1 - температура конденсационного зеркала; 2 - процесс конденсации углеводородов; 3 - процесс интенсивной конденсация воды; 4 - процесс испарения воды; 5 - процесс испарения углеводородов

Конденсация и рост пленки углеводородов в этих случаях сопровождается резкими скачкообразными изменениями уровня фотосигнала и может продолжаться достаточно длительное время (до 20...30 с). И только после значительного переохлаждения зеркала чувствительного элемента происходит прорыв воды сквозь пленку углеводородов, сопровождающийся интенсивным снижением уровня фотосигнала. Уровень фотосигнала в результате конденсации углеводородов снижается до 60%. При этом на кривой испарения углеводороды практически не отражаются.

По проведенным результатам можно отметить следующее. Минимальное значение уровня фотосигнала при конденсации на зеркало ДПИ различных по компонентному составу углеводородов составляет 60%. Кривая испарения во всех представленных треках мене подвержена влиянию углеводородов, чем кривая конденсации.

Если же точка росы по углеводородам лежит ниже точки росы по влаге, на кривой конденсации их присутствие никак не сказывается, так как конденсация влаги приводит к существенному снижению фотосигнала (рисунок 10).

Вследствие этого, анализатор может определить точку росы по углеводородам только в том случае, если она находится выше точки росы по влаге.

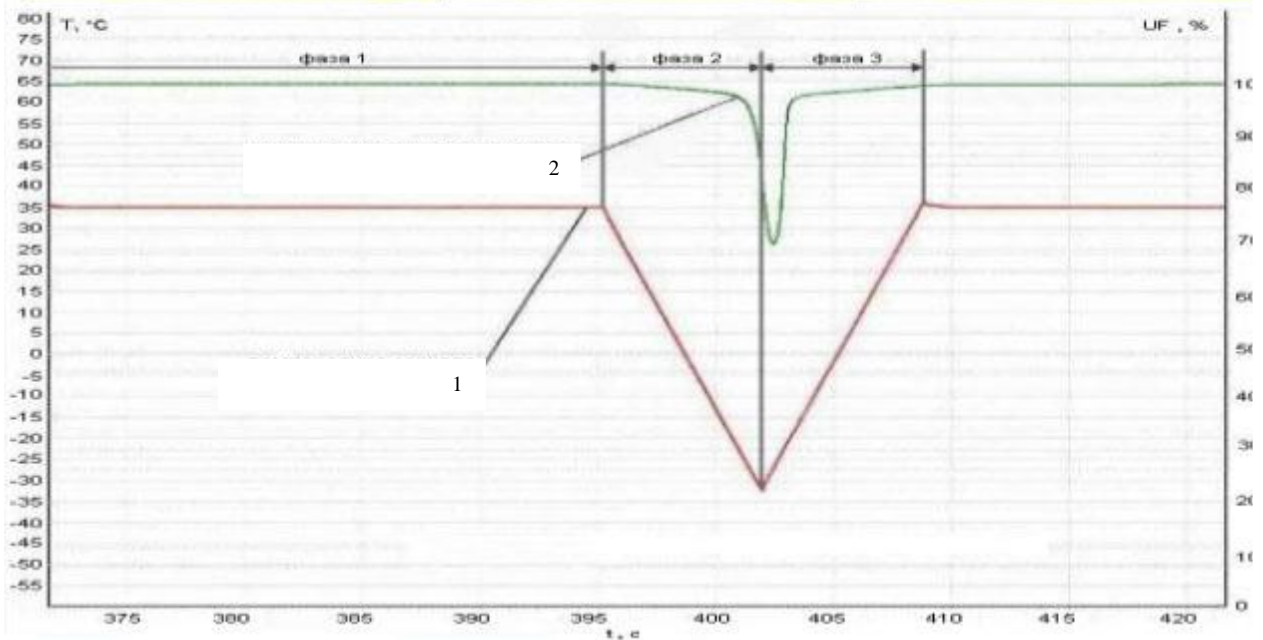
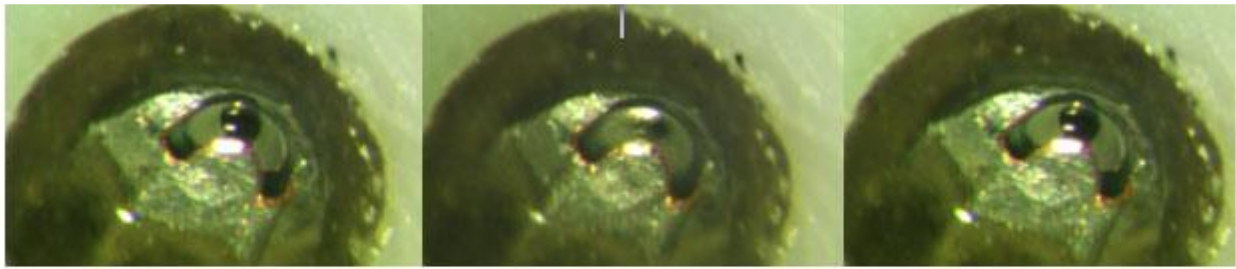


Рисунок 2.6. - Сопоставление визуального состояния изгиба оптоволокна с током фотосигнала отображающегося на мониторе ПК

1 - температура конденсационного зеркала; 2 - текущий уровень фотосигнала

Измерение точки росы по углеводородам.

Скорость в режиме охлаждения задается низкой ($0,2^{\circ}\text{C}/\text{c}$) согласно методике определения точки росы по углеводородам, изложенной в соответствующем ГОСТ 20061-84, где за точку росы по углеводородам принимают температуру начала конденсации углеводородов. На рисунке 11 в графическом виде представлен трек, снятый с ПК в режиме визуализации при конденсации паров пропана. Из рисунка 11 видно, что снижение фотосигнала происходит до уровня $\sim 80\%$, после чего при дальнейшем охлаждении зеркала динамика изменения фотосигнала отсутствует. Объясняется это тем, что рост плёнки, по мере понижения температуры зеркала, не может быть бесконечно большим.

В процессе охлаждения поверхности, прилегающие к конденсационному зеркалу, приобретают температуру равную температуре конденсации компонента, что приводит к растеканию плёнки углеводородов на края конденсационного зеркала и прилегающие поверхности и, как следствие, к стабилизации толщины плёнки на изгибе конденсационного

зеркала. Важную роль в этом процессе играет и кривизна поверхности изгиба в совокупности с высокой смачиваемостью сконденсированного флюида.

В результате за точку росы по углеводородам принимается температура t_k , определяемая в момент начала снижения фотосигнала (до 95...97%).

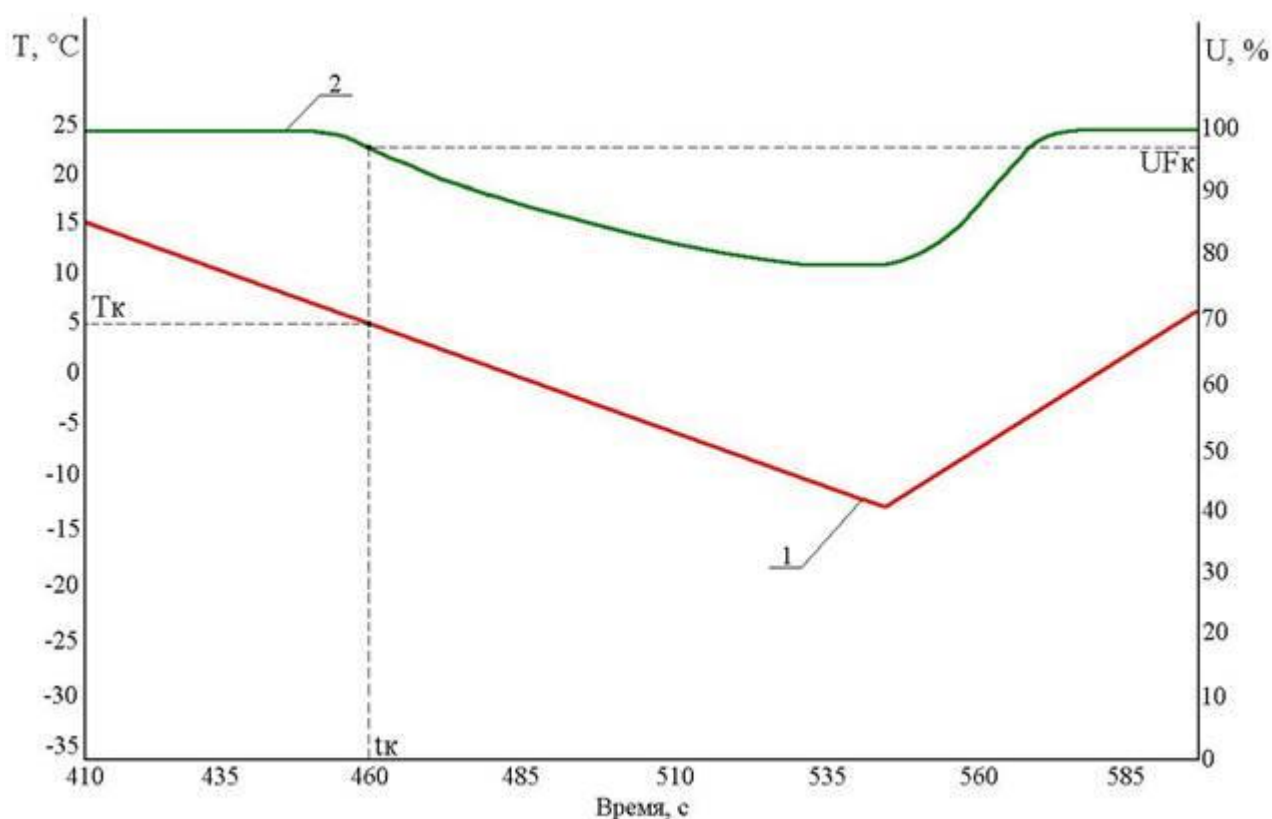


Рисунок 11 - Реакция датчика ИИП на конденсацию углеводородов

1 - температура конденсационного зеркала; 2 - текущий уровень фотосигнала.

Исходя из вышеизложенного, следует, что алгоритм измерения точки росы по влаге предполагает:

- охлаждение и нагрев конденсационного зеркала со скоростью $\sim 1^\circ\text{C}/\text{c}$;
- определение точки росы по кривой испарения влаги в результате её математической обработки;
- охлаждение (переохлаждение) конденсационного зеркала до снижения уровня фотосигнала на 50 %, что однозначно гарантирует наличие сконденсировавшейся влаги на конденсационном зеркале.

Охлаждение и нагрев конденсационного зеркала со скоростью $\sim 1^\circ\text{C}/\text{c}$ позволяет сократить время роста плёнки ранее конденсирующихся углеводородов до начала конденсации молекул воды.

Выбор определения точки росы по кривой испарения обусловлен результатами испытаний ИИП в условиях измерений точки росы по влаге в присутствии ранее конденсирующихся примесей. В условиях ранее конденсирующихся углеводородов характер кривой конденсации зависит не только от наличия на конденсационном зеркале плёнки углеводородов, но и от компонентного состава этой плёнки. Фактически процесс конденсации характеризует темпы образования центров конденсации влаги на

оптоволоконном изгибе зеркала, которые разрушают плёнку, образованную при конденсации углеводов, и обеспечивают «прорыв» конденсирующихся молекул воды и вытеснение плёнки углеводов на края конденсационного зеркала. При этом кривая испарения на начальном этапе однозначно характеризует именно процесс испарения сконденсировавшихся молекул воды.

Отсюда следует, что алгоритм определения точки росы по влаге в присутствии ранее конденсирующихся углеводов должен базироваться на переохлаждении конденсационного зеркала, т.е. охлаждения конденсационного зеркала заведомо ниже точки росы по влаге, с последующим анализом кривой испарения при нагреве конденсационного зеркала.

Измерение точки росы по углеводам производится по температуре начала их конденсации при медленном охлаждении чувствительного элемента со скоростью $0,2^{\circ}\text{C}/\text{с}$, что позволяет повысить точность их измерения.

Вычисление точки росы по влаге

Как уже было отмечено, точка росы по углеводам определяется как температура начала конденсации при снижении фотосигнала до 95...97%.

Температура точки росы по влаге определяется путем математической обработки кривой испарения, так как она более однозначно характеризует процесс испарения воды.

В условиях ранее конденсирующихся углеводов характер кривой конденсации зависит не только от наличия на конденсационном зеркале плёнки углеводов, но и от компонентного состава этой плёнки. Фактически процесс конденсации характеризует темпы образования центров конденсации влаги на оптоволоконном изгибе зеркала, которые разрушают плёнку, образованную при конденсации углеводов, и обеспечивают «прорыв» конденсирующихся молекул воды и вытеснение плёнки углеводов на края конденсационного зеркала.

После проведения измерительного цикла в соответствии с вышеизложенными требованиями (охлаждение конденсационного зеркала со скоростью $1^{\circ}\text{C}/\text{с}$ до снижения уровня фотосигнала более чем на 50% и последующий нагрев зеркала с той же скоростью) проводится математическая обработка кривой испарения полученного измерительного трека.

1. Конденсация влаги до углеводов.

Анализ кривой испарения проводится в три этапа. На рисунке 12 поясняется предложенный метод анализа кривой испарения.

На первом этапе определяется температура конденсации T_{k_0} измеренная при пересечении кривой конденсации уровня U_{k_0} и ряд температур испарения T_i ($T_{i_1}...T_{i_n}$) измеренных при пересечении кривой

испарения уровней U_i ($U_{i_1} \dots U_{i_n}$) с шагом дискретизации ΔU , причём $U_{i_1} = U_{k_0} + \Delta U$; $U_{i_{j+1}} = U_{i_j} + \Delta U$; $j=1, 2, \dots, n$

Уровень U_{k_0} соответствует 50 %-ному снижению уровня фотосигнала. Этот уровень обосновывается тем, что плёнка углеводородов ни при каких случаях не может обеспечить снижение фотосигнала более чем на 50 %.

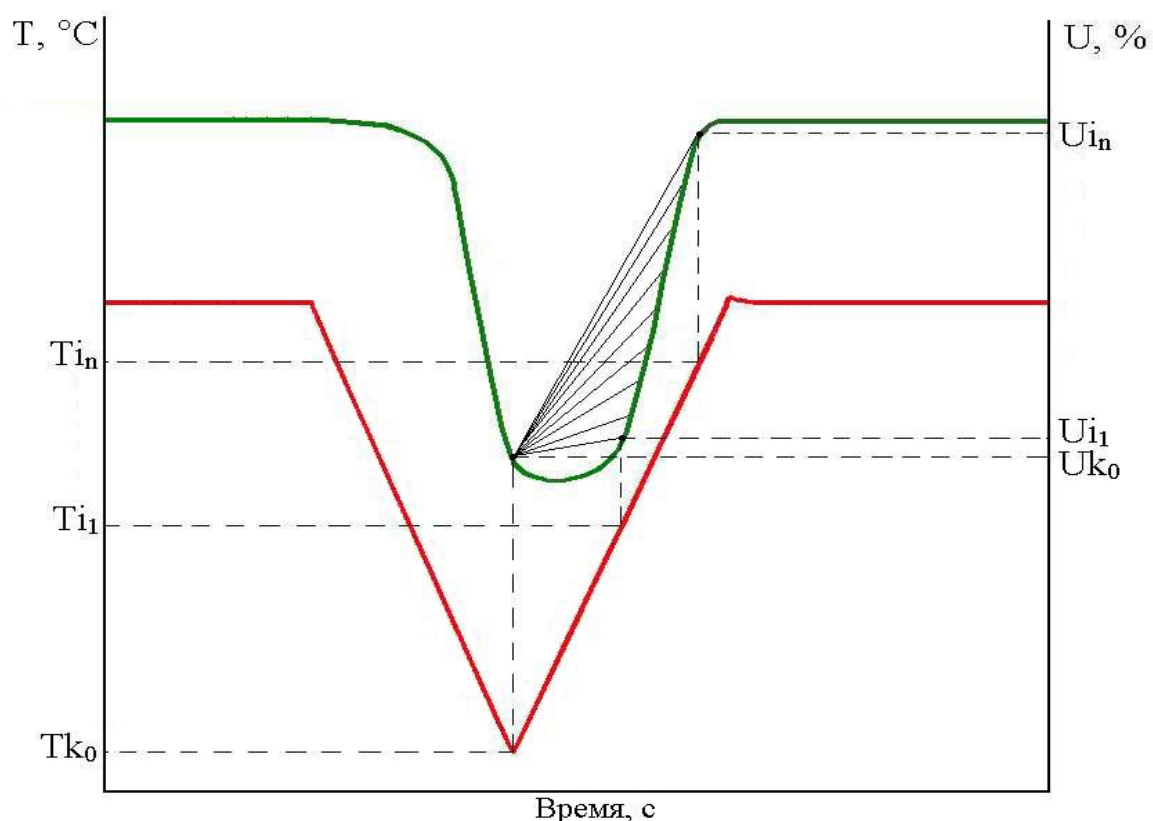


Рисунок 12. - Анализ кривой испарения на **чистых** газах

Уровень дискретизации ΔU выбран равным 0,5 % от максимального уровня фотосигнала. Такое значение ΔU , как показали практические испытания, может гарантировать отсутствие ложных срабатываний при определении температуры испарения из-за шумов фотосигнала, составляющих 0,1 % от максимального уровня.

На втором этапе вычисляется множество температур точек росы ($Tr_1 \dots Tr_n$) по формуле:

$$Tr_j = \frac{T_{k_0} + T_{i_j}}{2}, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

где T_{k_0} - температура конденсации, измеренная при пересечении кривой конденсации уровня U_{k_0} ;

$T_{i_j} = T_i(U_{i_j})$ - температуры испарения, измеренные при пересечении кривой испарения уровнями $U_{i_1} \dots U_{i_n}$;

n - количество шагов дискретизации;

Tr_j - вычисленная точка росы на j -ом шаге дискретизации.

Затем по вычисленным значениям температур точек росы ($Tr_1...Tr_n$) строится кривая как функция изменения температуры от уровня фотосигнала $Tr(U_i)$ (кривая 6 на рисунке 13). Физически эта кривая представляет собой ряд вычисленных точек росы с общей температурой конденсации и разными температурами испарения, измеренными на различных толщинах плёнки конденсата.

Далее определяется верхняя граница кривой 6, после которой, измеренная на соответствующем уровне фотосигнала U_{ij} , температура T_{ij} уже не характеризует процесс испарения влаги. Т.е. границу перехода влаги в газообразное состояние или начала испарения углеводородов в случае их наличия. Эта процедура производится на третьем этапе.

На третьем этапе вычисляется множество приращений температур точек росы ($\Delta Tr_1... \Delta Tr_{n-1}$) при шаге дискретизации ΔU по формуле:

$$\Delta Tr_j = Tr_{j+1} - Tr_j, j = 1, 2..n - 1 \quad (5)$$

Затем по вычисленным значениям температур приращения ($\Delta Tr_1... \Delta Tr_{n-1}$) строится кривая 7 как функция изменения приращения температуры от уровня фотосигнала $\Delta Tr(U_i)$ (см. рис. 13). Физически эта кривая соответствует разнице между измеренными точками росы на разных толщинах плёнки воды, соответствующих шагу дискретизации. По сути, кривая 7 отражает изменение градиента температуры между поверхностью зеркала и поверхностью слоя влаги определённой толщины. Отсюда следует, что $\Delta Tr(U_i)$ определяются фактически величиной градиента температур между слоями влаги соответствующим уровням фотосигнала U_{i+1} и U_i .

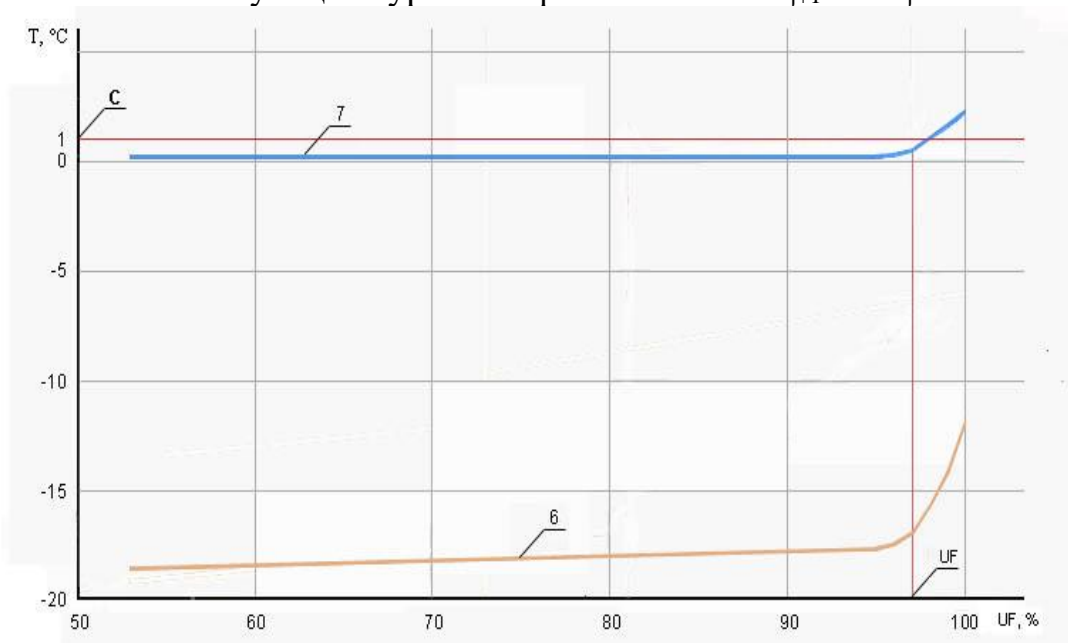


Рисунок 13. - Результаты математической обработки кривой испарения на чистых газах

Таким образом, если определить градиент температур некой константой C , то участок кривой 7 от первой вычисленной точки, величина которой удовлетворяет условию (6), до точки когда это условие не выполняется соответствуют изменению температуры точки росы по влаге.

$$|\Delta Tr_j| < C \quad (6)$$

Участок кривой 7 после первого не выполнения условия (6) в данном случае соответствует переходу воды из жидкого в газообразное состояние, и характеризуют дрейф оптического узла датчика. Тут следует отметить, что акцент на первое не выполнение условия (5) сделан потому, что при наличии в газе ранее конденсирующихся углеводородов этот участок может удовлетворять условию (6). Этот случай будет разобран ниже.

Таким образом, верхняя граница обсчёта кривой 6 ограничивается уровнем фотосигнала $U=Uf$, который соответствует пересечению кривой 7 с линией образованной константой C (см. рис. 13). Константа C определяется заданной погрешностью измерения точки росы и равна 1°C

В результате проведённого анализа и обработки кривой испарения было получено множество температур точки росы в зависимости от толщины слоя влаги и определена граница достоверности вычисленных температур. Учитывая, что все вычисленные точки росы характеризуют равновесное состояние влаги на конденсационном зеркале датчика, то температура точки росы анализируемого измерительного цикла вычисляется как:

$$Tr = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \frac{Tk_0 + Ti_j}{2}, \quad (7)$$

где m - количество вычисленных температур точек росы до первого не выполнения условия (6).

2. Конденсация влаги в присутствии ранее конденсируемых углеводородов.

Рассмотрим два характерных измерительных цикла изображённых на рисунках 8 и 9, характеризующих процесс конденсации влаги в присутствии тяжёлых углеводородов, конденсирующихся до воды. Выбор данных измерительных циклов обусловлен тем, что точка росы по влаге в исследуемых газах одинакова (примерно минус 18°C), а качественный состав углеводородов - разный. Кроме того, в исследуемых газах присутствовали технологические примеси (гликоли, метанол, механические примеси), которые существенно усложняют измерение точки росы по влаге преобразователями, реализующими конденсационный метод.

В первом случае, условия измерения точки росы по влаге и качественный состав углеводородов типичны для газа из подземного хранилища или газовых (газоконденсатных) месторождений.

Трек и его математическая обработка представлена на рисунке 14. Из рисунка видно, что процесс испарения существенно отличается от предыдущего случая, когда мы рассматривали чистые газы. На это раз кривая испарения имеет неидеальную форму. В результате после математической

обработки по выше приведённой методике получаем кривую 6, имеющую два пологих участка, характеризующих испарение различных компонент.

При этом кривая 7 имеет характерный пик, который пересекает линию, заданную константой С. Пересечение кривой 7 линии заданной константой С, определяет верхнюю границу обчёта температур точек росы по влаге. Участок кривой 6 после пика характеризует процесс испарения углеводородов. В результате обработки было получено:

- достоверный участок обчёта кривой 6 (по влаге): $U = 52 \dots 72\%$;
- вычисленная температура точки росы по влаге: $T_r = \text{минус } 18,16^\circ\text{C}$.

Рассмотрим теперь результаты математической обработки измерительного трека представленного на рисунке 9. В этом случае условия измерения точки росы по влаге характерны для газов валанжинских месторождений, попутных газов с нефтегазовых месторождений, где для подготовки газа используются установки низкотемпературной сепарации (НТС).

Математическая обработка трека представлена на рисунке 15. Как видно из рисунка, процесс конденсации и испарения здесь сильно различаются. Однако кривая испарения по своему характеру совпадает с кривой испарения в чистых газах. Поэтому и результаты математической обработки в этом случае имеют схожий вид. Чётко видно, что динамика изменения кривых 7 и 6 в конце процесса испарения носит плавный характер, а также отсутствуют пики на кривой 7. Однако верхняя граница обчёта температур точек росы по влаге здесь определена раньше, что обусловлено процессом испарения углеводородов. В результате математической обработки измерительного цикла получено:

- достоверный участок обчёта кривой 6 (по влаге): $U = 52 \dots 80\%$;
- вычисленная температура точки росы по влаге: $T_r = \text{минус } 18,19^\circ\text{C}$.

Обобщенный алгоритм измерения

Блок схема обобщённого алгоритма представлена на рисунке 16. Измерение значений точек росы по влаге и углеводородам происходит следующим образом. На первом этапе производится считывание параметров участвующих в измерительном цикле из устройства хранения данных Анализатора. Затем производится прогрев конденсационного зеркала прибора до заданной температуры прогрева (T_p) и удержание этой температуры в течение времени прогрева t_1 . Эта процедура необходима для полного испарения следов конденсата. Далее по значению параметра «К» определяется измерительный цикл – по влаге или по углеводородам. Если предыдущий цикл был по углеводородам, то следующий цикл будет по влаге, при этом параметр $K=1$. Если же $K=2$, то следующий цикл будет по углеводородам.

Измерительный цикл по влаге проводится в соответствии с ранее выработанными критериями - охлаждение конденсационного зеркала со скоростью $1^\circ\text{C}/\text{с}$, до снижения уровня фотосигнала на 50 % (выполнение

условия $U < U_k$), с последующим нагревом и фиксацией температуры конденсации T_k и температур испарения T_i . После чего вычисляется точка росы по влаге, параметру K присваивается значение 2 и вычисленная точка росы по влаге выводится на индикатор прибора. В случае не выполнения условия $U < U_k$ в течение времени t_1 на индикатор прибора выводится сообщение, что точка росы по влаге не определена.

В измерительном цикле по углеводородам скорость охлаждения задаётся $0,1^\circ\text{C}/\text{с}$. Охлаждение зеркала производится до выполнения условия $U < U_k$, после чего фиксируется температура конденсации T_k , которая и принимается за температуру точки росы по углеводородам. В случае не выполнения условия $U < U_k$ в течение времени t_1 на индикатор прибора выводится сообщение, что точка росы по углеводородам не определена.

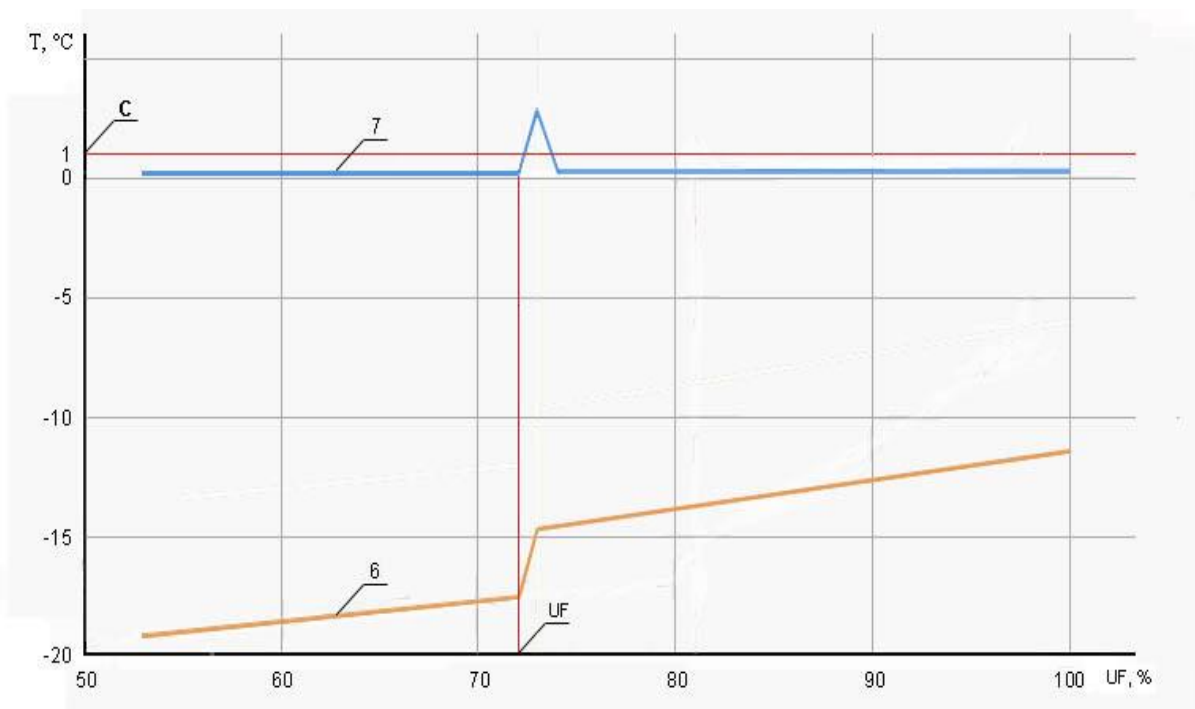
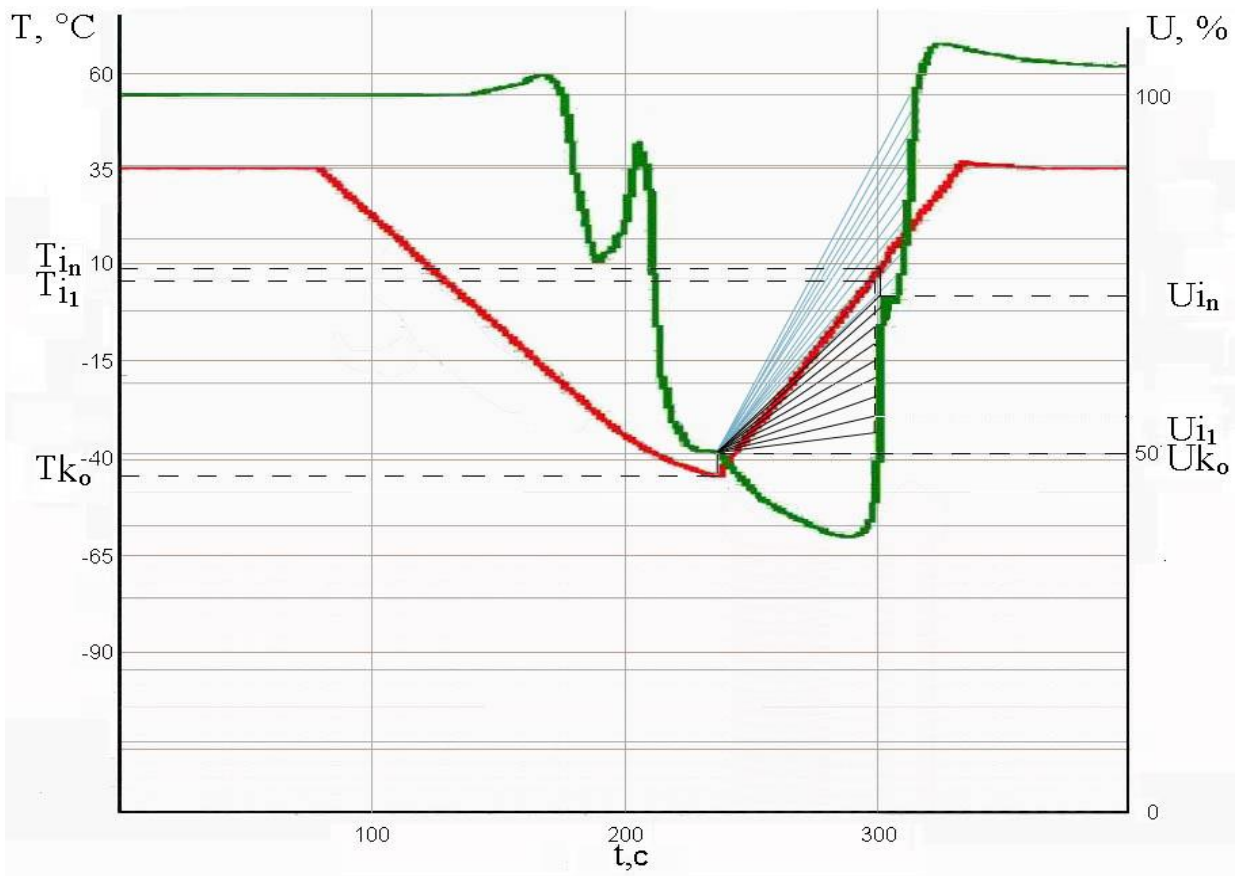


Рисунок 14. - Математическая обработка измерительного цикла при наличии в газе ранее конденсируемых углеводородов

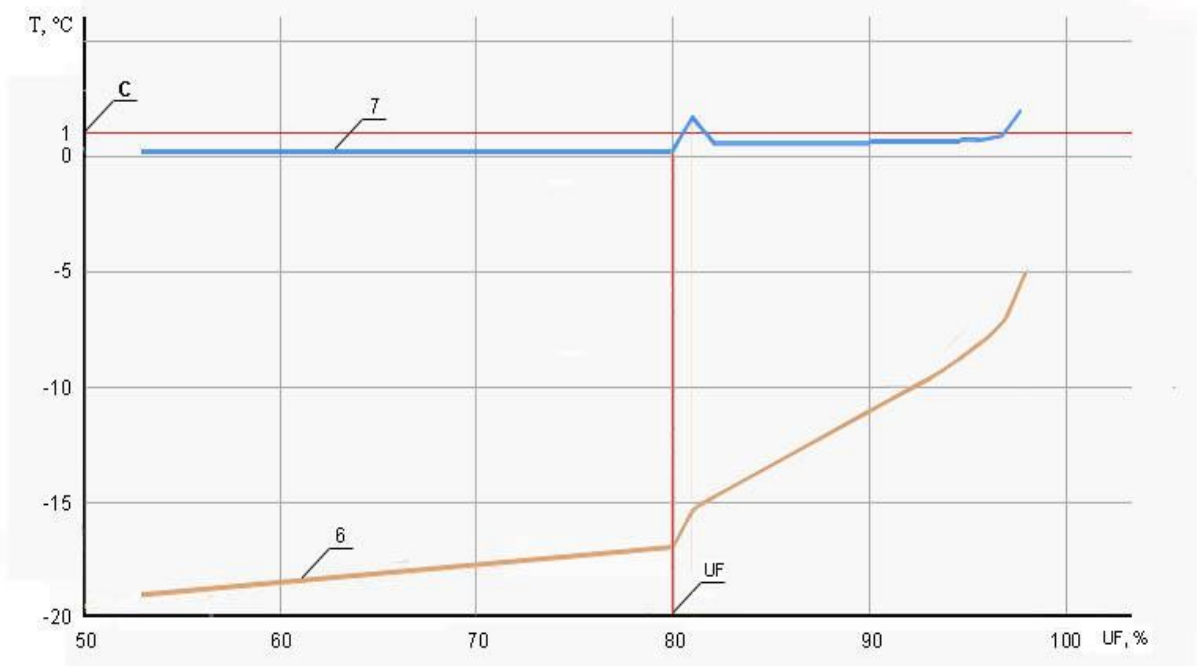
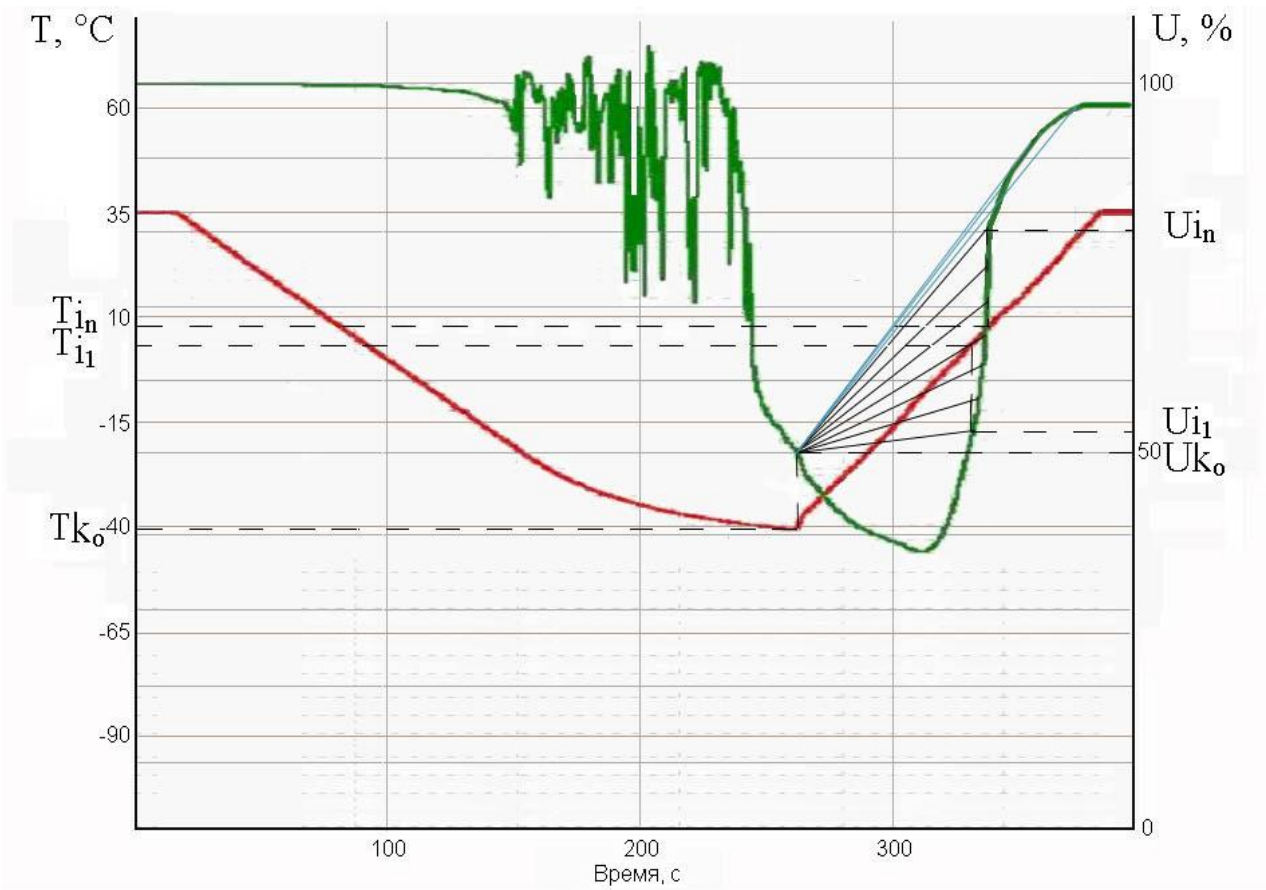


Рисунок 15. - Математическая обработка измерительного цикла в высококалорийном газе с большим содержанием тяжелых углеводородов

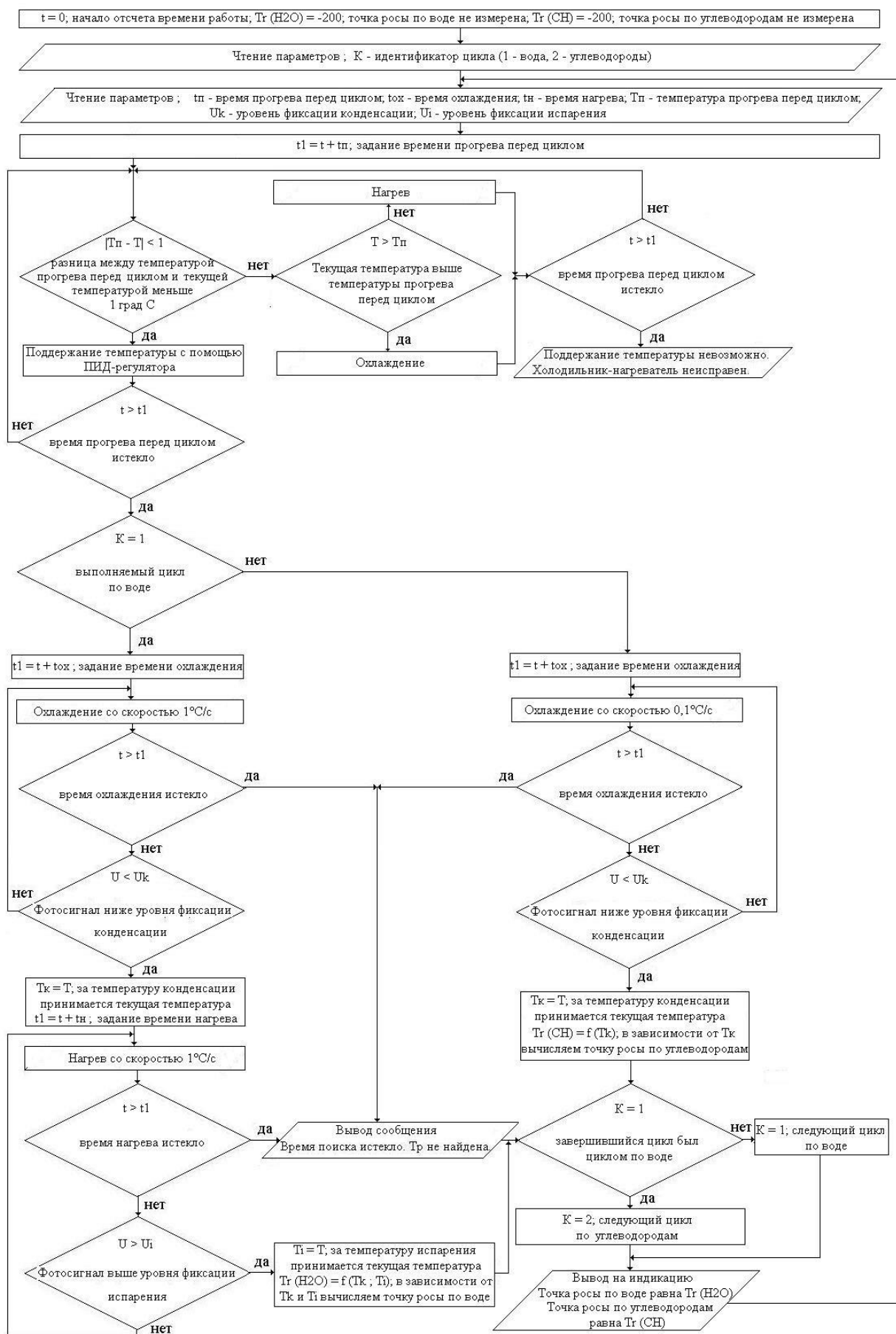


Рисунок 16. – Блок схема обобщённого алгоритма измерения точек росы по влаге и углеводородам

Основные результаты испытаний анализатора

Испытания после адсорбционной осушки газа

Из общетеоретических соображений следует, что наиболее благоприятные условия для работы Анализатора реализуются на установках адсорбционной подготовки газа, поскольку в осушаемом газе практически нет технологических примесей (или же они содержатся в минимальном количестве).

В отечественной практике функционируют пять установок адсорбционной осушки природного газа сеноманских залежей (месторождение Медвежье), причем в качестве адсорбента используется силикагель. Колонна адсорбционной осушки газа имеется на Астраханском ГПЗ с использованием в качестве адсорбента цеолитов. Кроме того, на всех АГНКС имеются блоки цеолитной доосушки газа, в которых газ готовится в соответствии с требованиями ГОСТ 27577-87. Блок цеолитовой доосушки газа имеется на КС «Береговая» на трассе газопровода «Голубой поток».

Наиболее жесткие требования по показателям качества газа реализуются на АГНКС, поскольку приборы должны обеспечивать определение точки росы газа по влаге до минус 50 °С и давлению до 25 МПа. Кроме того, после компрессоров в доосушенном газе может присутствовать компрессорное масло (в виде аэрозоля).

Для испытаний в таких условиях анализатор был включен по схеме, приведенной на рис. 17.

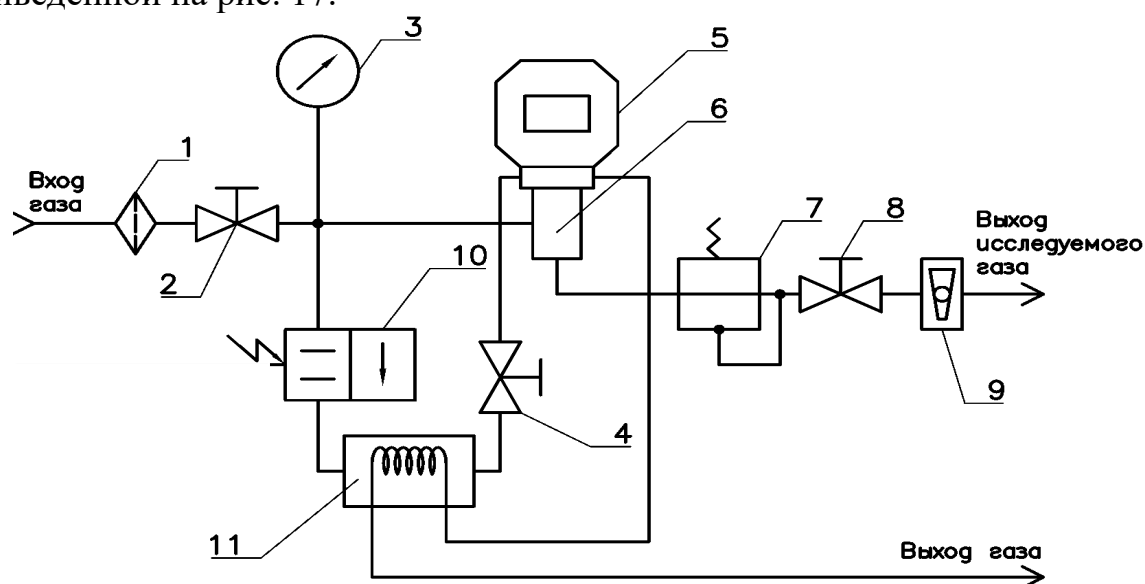


Рисунок 3.5. - Схема системы газоподготовки Анализатора с ДСО:

1 – фильтр; 2 – игольчатый вентиль высокого давления; 3 – манометр; 4 – игольчатый вентиль регулирования дополнительной ступени охлаждения; 5 – прибор «КОНГ-Прима»; 6 – корпус датчика прибора (с встроенным дросселем); 7 – редуктор давления; 8 – регулятор расхода газа; 9 – ротаметр; 10 – электромагнитный клапан; 11 – теплообменник.

В этой модификации Анализатора изменился алгоритм его функционирования, т.к. добавилась ветка автоматического управления электромагнитным клапаном. В итоге разработанная технология ДСО

позволяет осуществить поддержание температуры горячей грани термоэлектронной батареи с точностью $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, при перепаде температур до $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ относительно температуры окружающей среды, что вполне достаточно для проведения процесса измерения точки росы.

Испытания Анализатора проводились на АГНКС 500 №1 предприятия «Югтрансгаз».

Анализатор был установлен внутри компрессорного цеха АГНКС сразу после адсорберов (рисунок 17).

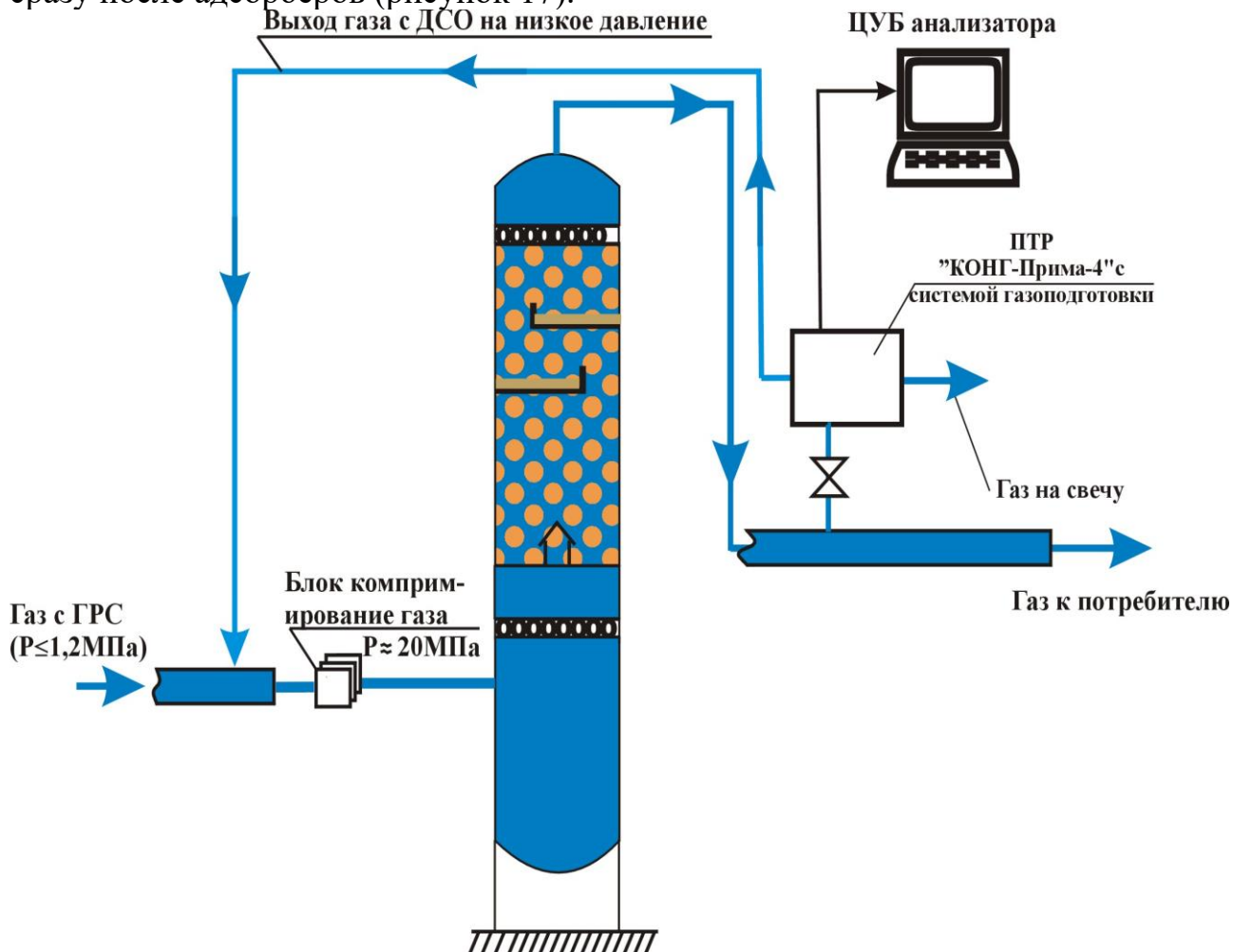


Рисунок 17. - Схема подключения Анализатора точек росы газа на АГНКС

Данные за весь период испытаний приведены на рисунке 18.

На рисунке приведён график изменения точки росы по показаниям Анализатора и циклы работы 1-го и 2-го адсорбера АГНКС. При построении графика использованы среднесуточные значения точки росы и даты переключения адсорберов. Переключения адсорберов до установки Анализатора проводились по количеству проведённых заправок (эмпирически, т.е. по опыту эксплуатации персоналом АГНКС было установлено, что переключение адсорберов следует осуществлять примерно через 500 заправок).

На АГНКС один адсорбер находится в рабочем состоянии, другой в режиме регенерации. Черная линия на уровне 1 (шкала справа) означает, что в работе адсорбер 1, а на уровне 2 – в работе адсорбер 2

В процессе испытаний измеряемая Анализатором температура точки росы в основном находилась ниже минус 50 °С, т.е. за пределами диапазона измерения. Периодически, по мере насыщения цеолита в адсорбере влагой, измеряемая температура точки росы поднималась до минус 45 °С ...минус 20 °С, т.е. попадала в измеряемый прибором диапазон значений. После переключения системы осушки газа на регенерированный адсорбер значения измеренной температуры точки росы резко понижались (в течение суток уходили за пределы диапазона измерения прибора).

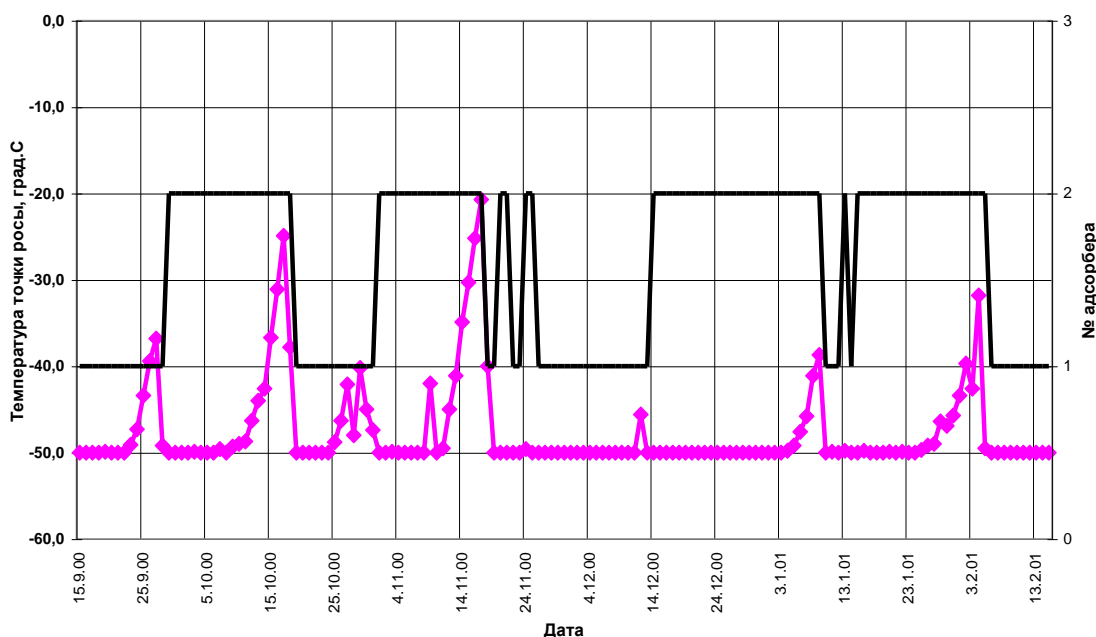


Рисунок 18. - Показания Анализатора "КОНГ-Прима-4" при работе в автоматическом режиме на АГНКС

Таким образом, величина температуры точки росы после адсорбера зависела от плотности заправок автомобилей и степени насыщения цеолита в адсорбере. За весь период испытаний (4 месяца) отказов в работе Анализатора не было.

Испытания после абсорбционной (гликолиевой) осушки газа

Испытания проводились в ООО «Уренгойгазпром».

На рисунке 19 приведены показания Анализатора «КОНГ-Прима-4», и индикатора «Харьков-1М» за период испытаний с 10.09.01.г по 18.09.01г.

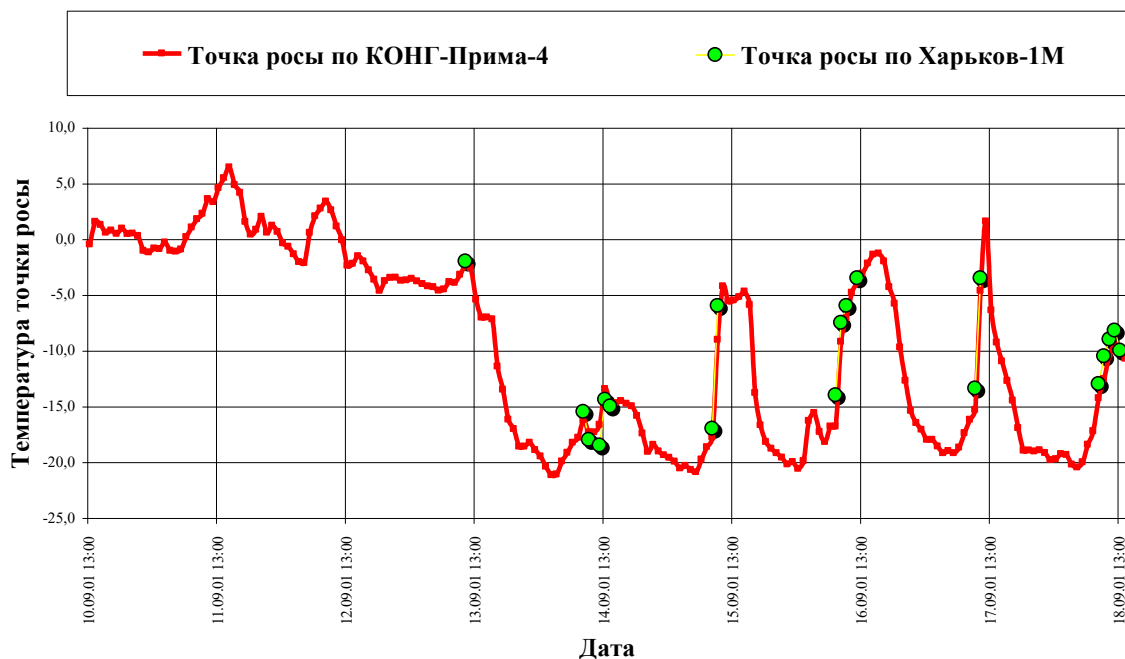


Рисунок 19. - Результаты измерений температуры точки росы на сеноманском газе

Далее рассмотрим результаты измерений температуры точки росы по влаге Анализатора при изменяющихся режимах работы установки абсорбционной осушки на УКПГ-5. На рисунках 20 - 23 показано изменение точки росы при изменении подачи ДЭГа, температуры газа на узле замера, температуры контакта ДЭГ-газ, температуры в испарителе (концентрации регенерированного ДЭГа) соответственно. Полученные данные подтверждают, что Анализатор достаточно быстро (в течение ~20 - 30 минут) и вполне адекватно реагирует на изменение технологических режимов работы УКПГ. Причем временная задержка обусловлена не только характерными параметрами цикла измерения, но объективными причинами (инерционностью технологического процесса).

Испытания по измерению точки росы по углеводородам.

Промысловые испытания на УКПГ-2 и УКПГ-5В ООО «Уренгойгазпром»

На УКПГ-2 Анализатор устанавливался после ДКС на смеси сеноманского и валанжинского газов. Полученные результаты в пределах погрешности приборов совпали с результатами контроля температуры точки росы «Харьков 1М» и показаниями Преобразователя.

На рисунке 24 приведены данные по результатам работы Анализатора на УКПГ-5В. При работе Анализатора на УКПГ-5В на валанжинском газе установлено следующее:

- при температуре НТС минус 30...32°C Анализатор измерял точку росы по углеводородам минус 23°C, при этом точка росы по влаге находилась ниже минус 30°C (т.е. вне диапазона измерений Анализатора);

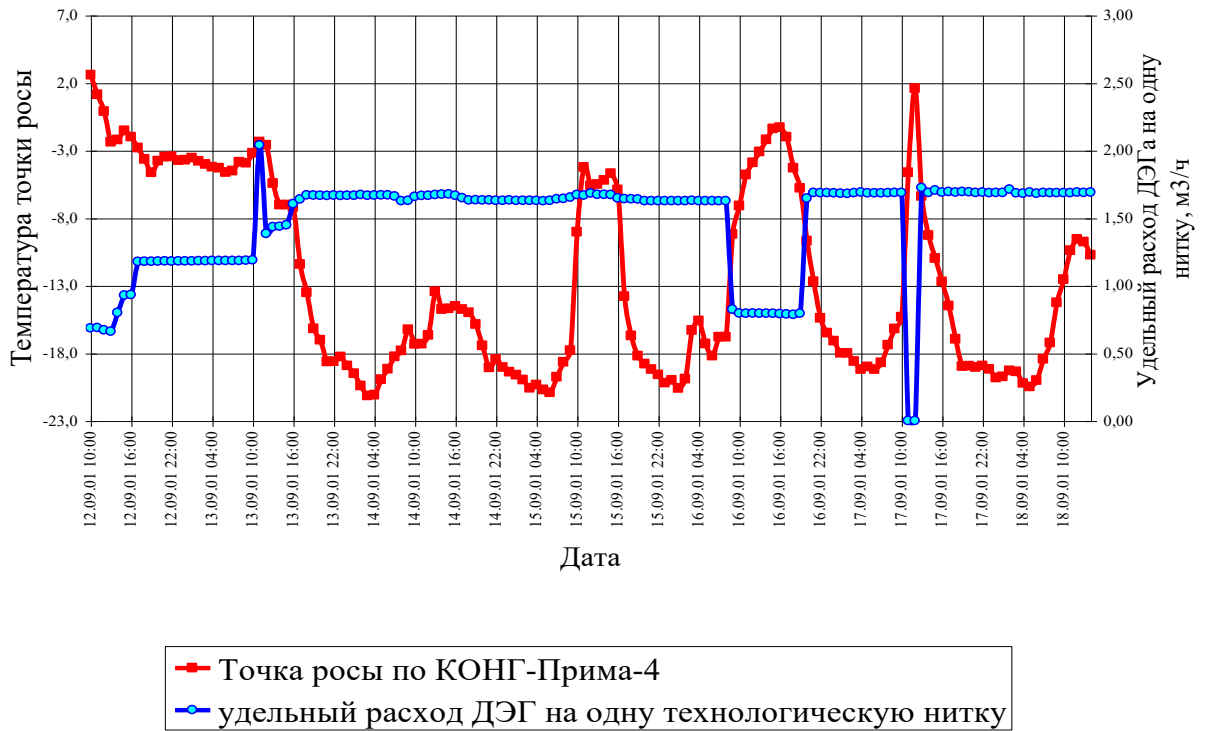


Рисунок 20. - Результаты измерения температуры точки росы при изменении удельной подачи ДЭГа

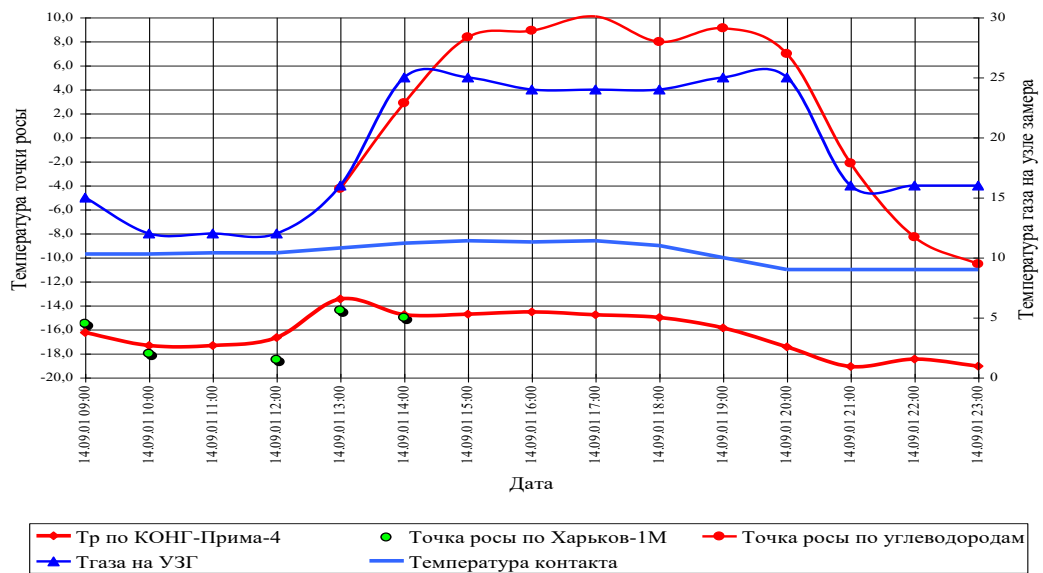


Рисунок 21. - Результаты измерения температуры точки росы при изменении температуры газа на узле замера

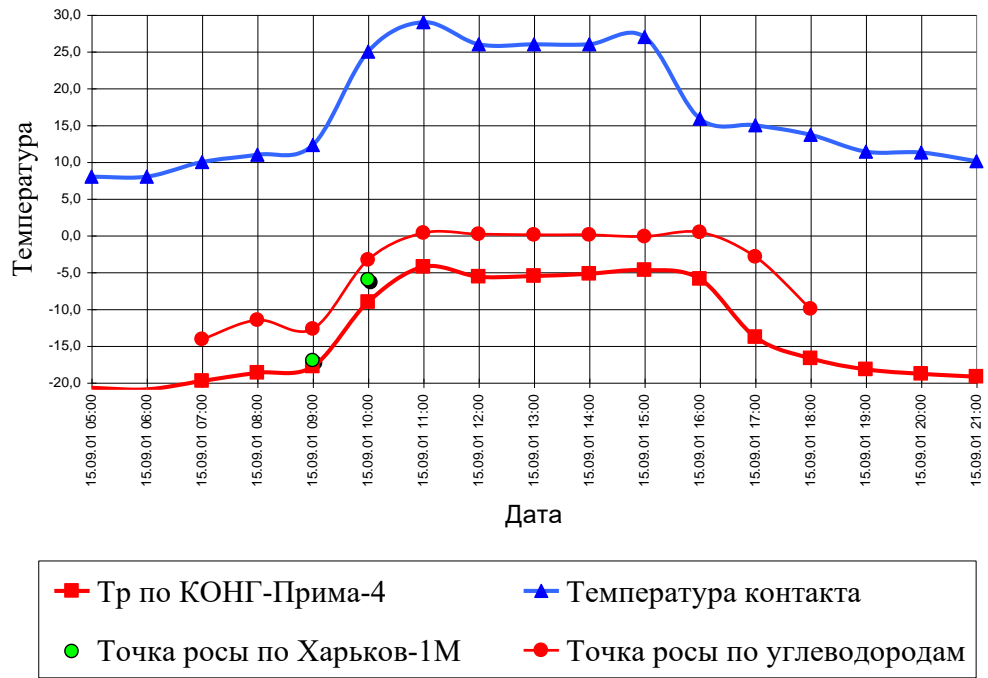


Рисунок.22. - Результаты измерений температуры точки росы при изменении температуры контакта ДЭГ-газ.

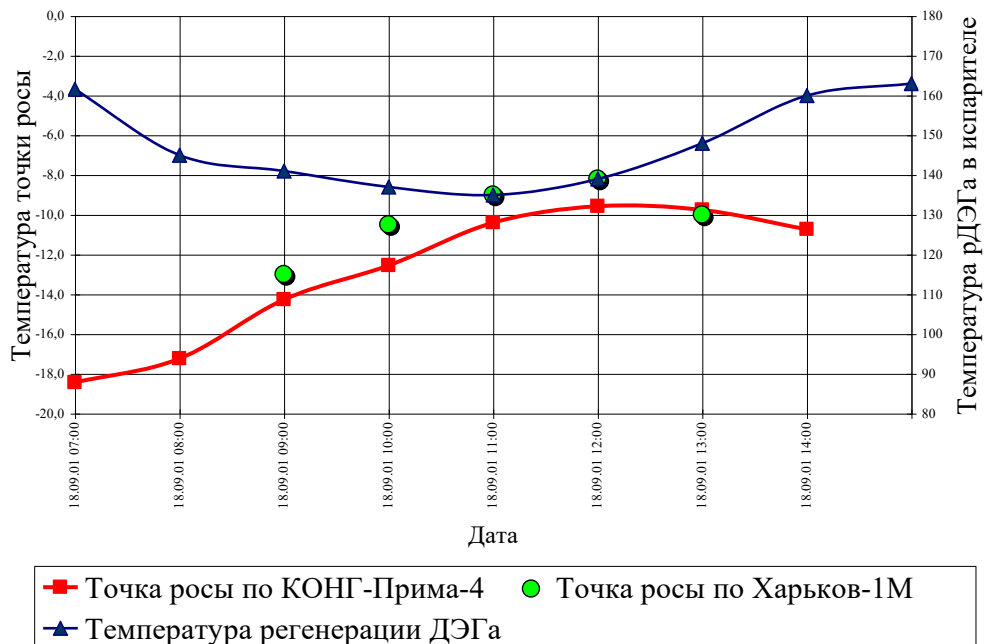


Рис.23. - Результаты измерений точки росы при изменении температуры регенерации ДЭГа в испарителе (концентрации)

- при повышении температуры НТС до минус 23°C Анализатор измерял точку росы по углеводородам минус 15°C, по воде - минус 24°C, что практически соответствует реальным технологическим процессам НТС.

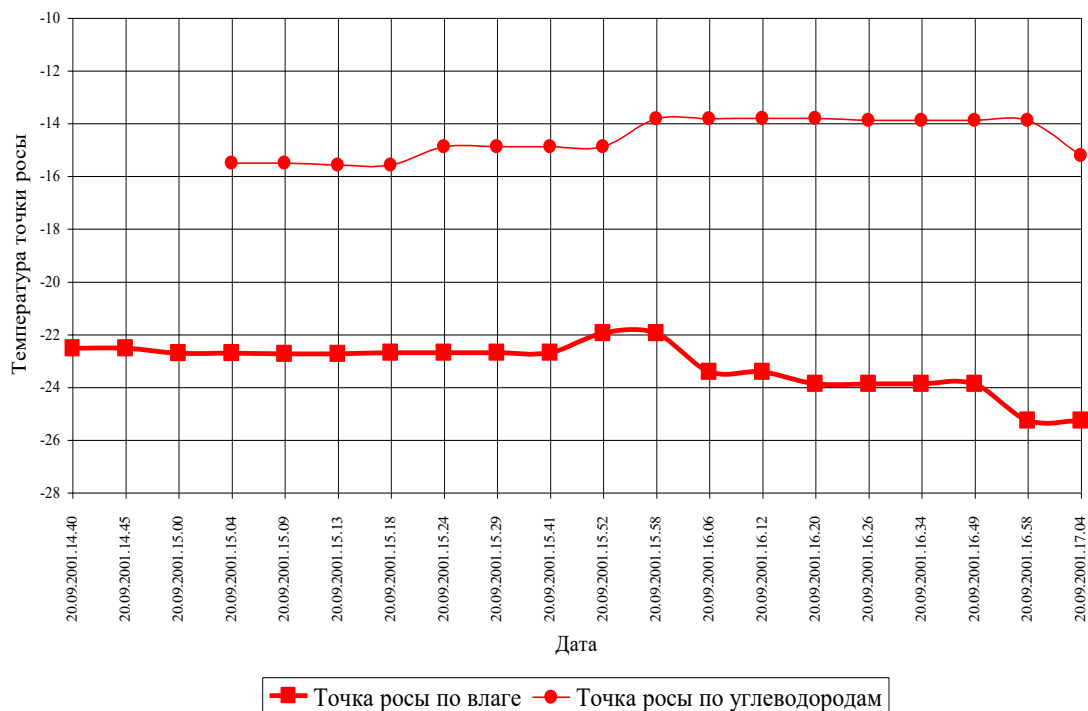


Рисунок 24. - Результаты измерения точки росы по влаге и углеводородам на УКПГ-5В Уренгойского НГКМ

Промышленные испытания Анализатора в ООО «Юрхаровнефтегаз»

В период с 21.02.04 по 24.02.04 измерения точки росы по углеводородам были проведены на УКПГ-1 ООО «Юрхаровнефтегаз», где для подготовки валанжинского газа также используется установка низкотемпературной сепарации газа. Во время проведения измерений имели место следующие параметры работы установки НТС:

- температура последней ступени сепарации минус 30°C;
- давление газа на выходе 5,2 МПа;
- температура газа на УЗГ 2°C.

Результаты измерений приведены в виде графика на рисунке 25.

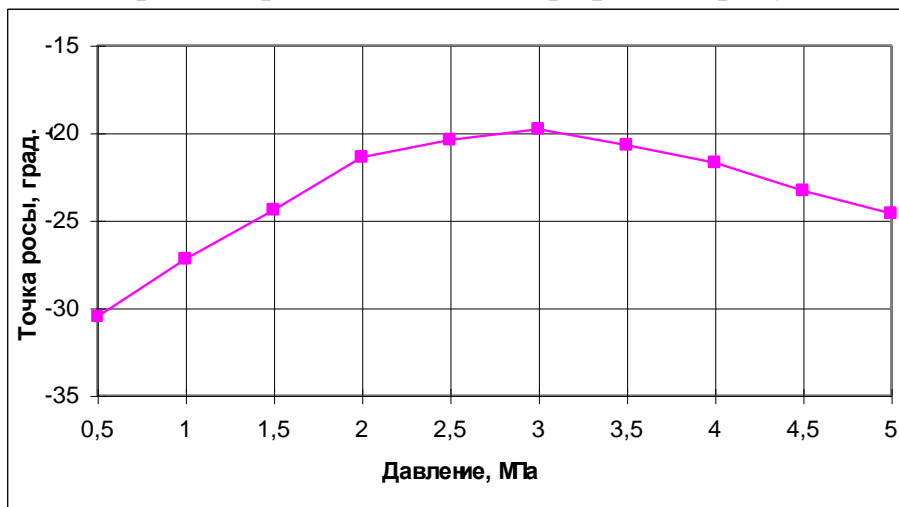


Рисунок 3.15. - Кривая конденсации углеводородов в зависимости от давления (осушенный газ на узле замера газа УКПГ-1 ООО «Юрхаровнефтегаз» при давлении 5,2 МПа).

Тема 5. Особенности эксплуатации анализатора «КОНГ-Прима-4П».

Анализатор «КОНГ-Прима-4П» представляет собой переносной прибор, предназначенный для периодического контроля точек росы природного газа по влаге и углеводородам.

Внешний вид анализатора представлен на рис. 1.



а)



б)

Рисунок 1 – Внешний вид анализатора точки росы «КОНГ-Прима-4П»
а) вид сбоку; б) вид сверху

Анализатор имеет аккумуляторную батарею, рассчитанную на 4 часа непрерывной работы и компактную систему подготовки газа, имеющую фильтр механических примесей, манометр и ротаметр для контроля давления газа и расхода газа через измерительную камеру. Анализатор может работать в трех режимах:

- в автоматическом режиме;
- в режиме автоматического управления температурой зеркала при поддержании заданной толщины пленки конденсата (устанавливается оператором);
- в режиме ручного управления температурой зеркала.

В автоматическом режиме алгоритм работы анализатора не отличается от алгоритма работы стационарного анализатора «КОНГ-Прима-4».

В анализаторе предусмотрена возможность хранения измеренных значений точек росы в течение не менее 3-х месяцев и возможность просмотра треков измерений. Доступ к данным производится с помощью терминальной программы через сетевой кабель.

Тема 6. Анализатор точек росы интерференционный «КОНГ-Прима-10».

Оптоволоконный метод измерения точек росы по влаге и углеводородам, реализованный и внедренный в анализаторах точек росы «КОНГ-Прима-2», «КОНГ-Прима-4» и «КОНГ-Прима-4П» обеспечивает надежное и стабильное измерение точек росы по влаге в присутствии ранее конденсируемых углеводородов. Однако, он не обеспечивает измерение точки росы по углеводородам, если они конденсируются одновременно или после воды.

Для решения проблемы повышения чувствительности к конденсации углеводородов и обеспечения измерения точек росы по влаге и углеводородам независимо от их взаимного расположения по температуре предложен новый **лазерно-интерференционный метод** измерения точек росы, реализованный в анализаторе «КОНГ-Прима-10».

По назначению, внешнему виду и габаритным характеристикам анализатор «КОНГ-Прима-10» не отличается от анализатора «КОНГ-Прима-4». Различия состоят в конструкции датчика первичной информации и программном обеспечении, реализующем алгоритм измерения точек росы.

1. Особенности способа измерения, реализованные в анализаторе «КОНГ-Прима-10».

В разработанном в 2005 году анализаторе точек росы «КОНГ-Прима-10» (далее, - анализатор) для повышения точности и надежности измерения точек росы применён новый способ фиксации момента выпадения флюида из газовой среды, запатентованный в России, Западной Европе и США. Данный способ имеет высокую чувствительность именно к тонким прозрачным пленкам, толщина которых соизмерима с длиной волны источника излучения. Рассмотрим его принципиальные отличительные особенности.

В классической схеме конденсационного гигрометра, световая волна от источника излучения проходит через газообразную среду и попадает на зеркало, представляющее собой полированную металлическую пластину. Образование на пластине пленки конденсата при ее охлаждении определяется по изменению отражающих свойств поверхности. Отличие новой схемы регистрации, примененной в анализаторе, состоит в использовании явления поляризации света при его отражении и преломлении, что принципиально позволяет повысить чувствительность измерительного тракта системы.

Учитывая, что поляризация света всегда происходит при его отражении и преломлении на границе раздела двух диэлектрических сред, для

реализации этого подхода конденсационное зеркало анализатора должно быть выполнено из пластины диэлектрика. Электромагнитная оптическая волна, падая на границу раздела двух сред (диэлектрическое зеркало), частично отражается от поверхности раздела, а частично преломляется, переходя во вторую среду. Степень поляризации зависит от угла падения и показателя преломления n отражающей среды [2].

На рисунке 1 представлена схема распространения световых волн от источника света S . Линия AB – плоская граница раздела сред с показателями преломления n_1 (исследуемый газ) и n_2 (диэлектрическое зеркало). Лучи 1, 1' и 2 соответственно падающий, отраженный и преломленный лучи, а углы между ними и перпендикуляром ab к поверхности раздела сред: α – угол падения, α' – угол отражения и β – угол преломления.

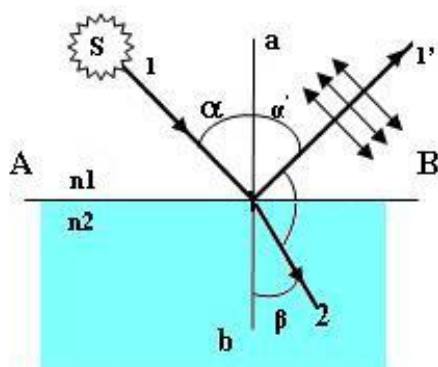


Рисунок 1. - Схема распространения световых волн

Соотношения между фазами и амплитудами падающей (φ^0 , A^0), отраженной (φ^{op} , A^{op}) и преломленной (φ^{np} , A^{np}) волн можно найти из граничных условий на границе раздела сред: в первой среде на поле падающей волны накладывается поле отраженной волны; во второй среде имеется поле только преломленной волны.

Плоскую волну, вектор E которой произвольно ориентирован в пространстве, можно разложить на сумму двух волн, у одной из которых E_p напряженность электрического поля лежит в плоскости падения, а у другой E_s – перпендикулярно ей.

Для волны E_s и волны E_p связь между амплитудами колебаний выражается формулами Френеля [2]:

$$A_p^{omp} = -A_p^0 \frac{\operatorname{tg}(\alpha - \beta)}{\operatorname{tg}(\alpha + \beta)}, \quad A_p^{np} = A_p^0 \frac{2 \cos \alpha * \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta) * \cos(\alpha - \beta)}; \quad (1)$$

$$A_s^{omp} = -A_s^0 \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\sin(\alpha + \beta)}, \quad A_s^{np} = A_s^0 \frac{2 \cos \alpha * \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)}; \quad (2)$$

Проведем качественный анализ формул (1, 2) для оптической схемы, используемой в первичном преобразователе анализатора, с учетом закона преломления Снеллиуса:

$$\sin \alpha / \sin \beta = n_2 / n_1 = n_{21}. \quad (3)$$

Показатель преломления газов (в том числе и метана) близок к единице, показатель преломления твердых тел (диэлектриков) значительно превышает единицу. Следовательно, световая волна распространяется из оптически менее плотной среды в оптически более плотную ($n_2 > n_1$). Поскольку амплитуды падающей волны A^0_s и A^0_p величины всегда положительные, то из формул (1, 2) следует, что амплитуды преломленной волны A^{np}_s и A^{np}_p также положительны при любых возможных значениях угла падения и угла преломления. Это свидетельствует о совпадении фаз преломленной и падающей волн. Величина $A^{отр}_p$ при отражении света от границы со средой с большим показателем преломления ($\alpha > \beta$) является отрицательной величиной. Это означает, что фаза отраженной волны меняется на π . Зависимость ($A^{отр}_p / A^0_p$) от угла падения α для случая $n_2 > n_1$ приведена на рисунке 2.

Из графика, приведенного на рисунке 2 следует, что при некотором угле падения α_6 , амплитуда отраженной волны, лежащей в плоскости падения становится равной нулю, а при переходе через угол α_6 фаза отраженной волны скачком изменяется на величину π . Угол находится из выражения (1) при условии $A^{отр}_p / A^0_p = 0$, т. е., когда $\text{tg}(\alpha + \beta)$ стремится к бесконечности и, следовательно $\alpha_6 + \beta_6 = \pi/2$. С учетом закона Снеллиуса (3) в итоге получаем:

$$\text{tg}\alpha_6 = n_2/n_1. \quad (4)$$

Формула (4) называется соотношением (законом) Брюстера, а угол α_6 - углом Брюстера.

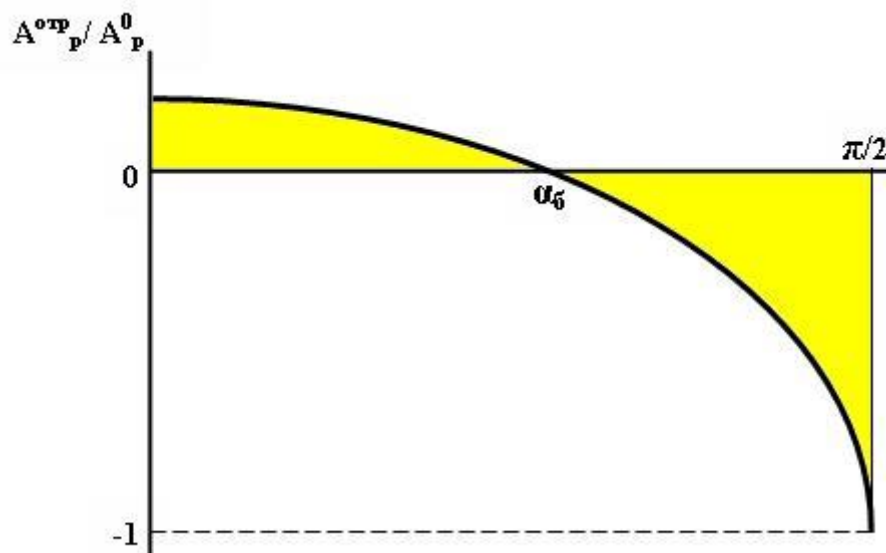


Рисунок 2. - Зависимость ($A^{отр}_p / A^0_p$) от угла падения α при $n_2 > n_1$

Таким образом, в соответствии с законом Брюстера, естественный свет при отражении от диэлектриков полностью поляризуется, если тангенс угла падения численно равен относительному показателю преломления отражающей пластины (углу Брюстера). При дальнейшем увеличении угла падения доля поляризованного света вновь уменьшается. При падении света под углом Брюстера, луч отраженный и луч преломленный взаимно

перпендикулярны, а колебания электрического вектора поляризованного излучения происходят перпендикулярно плоскости падения.

Из приведенного выше анализа следует, что в соответствии с принципом суперпозиции, при освещении диэлектрического зеркала поляризованным в плоскости падения светом (от лазерного источника) и выполнении условия (4), отраженная волна отсутствует, и весь падающий свет полностью преломляется в диэлектрическое зеркало. Таким образом, реализация условия (4) позволяет с высокой степенью точности идентифицировать наличие на зеркале анализатора любой дополнительной пленки, если ее показатель преломления отличается от показателя преломления материала зеркала, т. к. образование на зеркале пленки жидкого (или твердого) флюида нарушает условие Брюстера и приводит к появлению отраженной волны.

При наличии на зеркале пленки флюида прохождение света от источника излучения осуществляется через три физически различных среды:

- газообразную (исследуемый газ);
- жидкую (сконденсировавшийся флюид при охлаждении зеркала);
- твердую, представляющую собой конденсационное зеркало гигрометра.

На рисунке 3 представлена схема распространения световых волн в оптической схеме первичного преобразователя анализатора.

Конденсационное зеркало 3 освещается источником света S , свет которого поляризован в плоскости падения (плоскости рисунка) под углом α . Величина угла α удовлетворяет условию (4). В этом случае свет будет падать на конденсационное зеркало под углом Брюстера. Следовательно, при отсутствии на зеркале сконденсированной пленки, линейно поляризованный свет источника излучения, падающий на границу раздела сред 1 - 3 (газ - зеркало) будет полностью преломляться в среду 3, а отраженная волна будет отсутствовать.

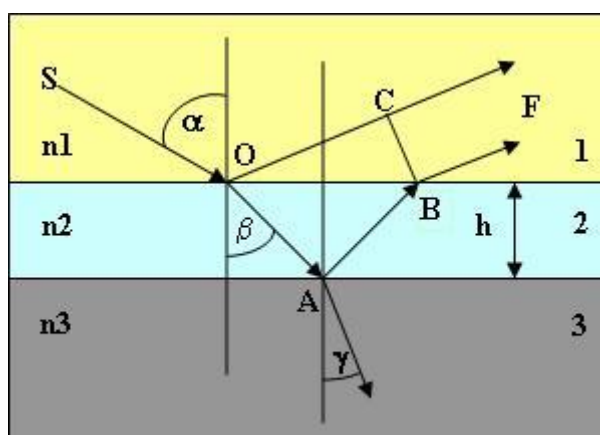


Рисунок 3. - Схема распространения света при наличии на зеркале пленки конденсата:

- 1 - исследуемый газ, имеющий показатель преломления n_1 ;
- 2 - пленка сконденсированного флюида, имеющая показатель преломления n_2 и толщину h ;
- 3 - диэлектрическое зеркало, имеющее показатель преломления n_3 ;

S – источник излучения; F – приемник излучения

При появлении на зеркале пленки флюида 2, некоторой толщины h и имеющей показатель преломления n_2 , отличный от n_3 , соотношение Брюстера нарушается: появляется отраженная волна от границы раздела сред 1- 2 (газ – пленка). Кроме того, ввиду оптической прозрачности сконденсированной пленки, происходит разделение падающего пучка света по амплитуде. В результате падающий луч SO частично отражается, а частично преломляется во вторую среду. Луч OA, в свою очередь, частично отражается от конденсационного зеркала 3, а частично преломляется в пластину зеркала 3. Получающиеся лучи OF и BF интерферируют, а отрезок СВ является фронтом плоской волны.

В итоге, для разности хода лучей получаем [3]:

$$\Delta = 2h * n_2 \cos \beta + \lambda/2 = 2h * n_1 \sin \alpha \operatorname{ctg} \beta + \lambda/2. \quad (5)$$

Разность фаз между лучами, приходящими к приемнику F будет описываться следующим выражением:

$$\delta = \frac{4\pi}{\lambda} h * n_2 \cos \beta + \pi = \frac{4\pi}{\lambda} h * n_1 \sin \alpha * \operatorname{ctg} \beta + \pi. \quad (6)$$

Как видно из выражения (7), разность фаз интерферирующих лучей является функцией толщины пленки h . Следовательно, интенсивность приходящего на фотоприемник света будет периодической функцией от толщины пленки h .

Анализ чувствительности схемы к образованию пленки флюида, проведенный на основании зависимости (6), показывает, что с повышением показателя преломления материала диэлектрического зеркала увеличивается амплитуда отраженного интерференционного сигнала.

Из условия обеспечения максимальной чувствительности, химической стойкости к агрессивным средам и хорошей теплопроводности в качестве материала зеркала выбран кремний, имеющий показатель преломления $n=4,24$, а коэффициент теплопроводности $\lambda=167$ Вт/мК, сравнимый с металлами, что определяет минимальный градиент температур между измеряемой термодатчиком температурой и действительной температурой поверхности зеркала. Угол Брюстера для границы сред «метан - кремний» составляет $76,73^\circ$.

Для определения физической природы конденсирующихся из газа флюидов (влаги и/или углеводородов) могут быть использованы различия в отражающих свойствах образующейся на зеркале пленки. Из-за существенно разных коэффициентов поверхностного натяжения влаги и углеводородов, структуры пленки углеводородов и воды на поверхности зеркала качественно различаются (пленка углеводородов - равномерная и однородная, а пленка водной фазы неоднородная и как бы состоящая из множества микрокапель). В связи с этим разные по физической природе пленки конденсата перераспределяют отраженный световой поток по-разному. В случае конденсации на зеркале углеводородных фракций происходит направленное

отражение света от поверхности пленки, а в случае конденсации влаги – диффузное отражение.

В связи с рассмотренной выше физической картиной конденсации для определения момента конденсации, а также идентификации конденсирующихся из газа влаги и углеводородов в первичном преобразователе анализатора используются три приемника света. Приемники света расположены в соответствии с рисунком 4 и фиксируют направленное отражение (фотоприемник напротив световода), диффузное отражение (фотоприемник слева от световода) и комбинированное отражение (фотоприемник справа от направления светового потока).

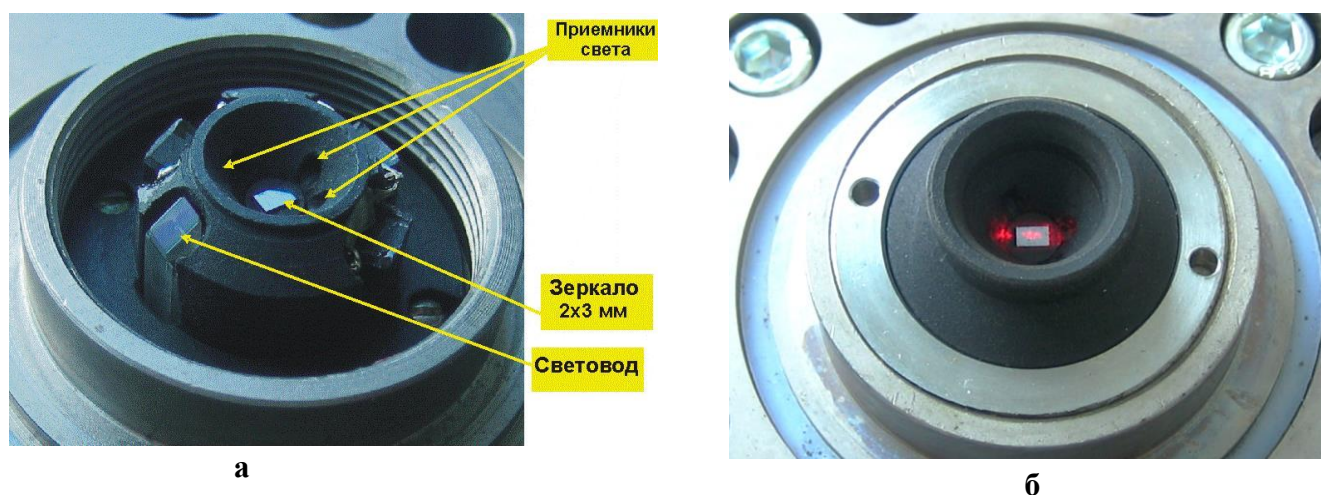


Рисунок 4. - Внешний вид первичного преобразователя анализатора
а – без защитного кожуха; б – в сборе

Поляризованный лазерный луч через световод под углом Брюстера направляется на кремниевое зеркало, припаянное к термоэлектронной батарее (предназначенной для управления температурой зеркала). При чистом зеркале (т.е. отсутствии на нем пленки жидкости) весь падающий свет оказывается преломленным и отраженная волна отсутствует. При охлаждении зеркала и появлении пленки флюида часть светового потока отражается из-за нарушения условия Брюстера. Образование на зеркале равномерной однородной пленки углеводородов приводит к появлению двух отраженных сигналов, которые могут усиливать или ослаблять друг друга в зависимости от толщины пленки флюида. Эти изменения фиксируются фотоприемником, установленным напротив источника излучения и фиксирующим направленное отражение света.

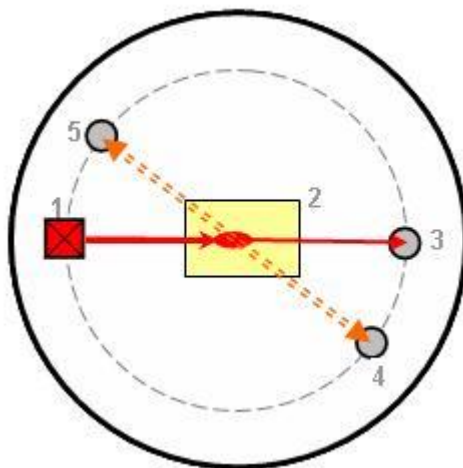
Особенности используемого датчика первичной информации

Новизна и отличительные особенности датчика первичной информации заключаются в следующем.

1. Для повышения чувствительности датчика к образованию на зеркале конденсата любой физической природы используется оптический эффект полной поляризации света при его преломлении и отражении на границе двух диэлектриков (закон Брюстера). Для этой цели используется диэлектрическое конденсационное зеркало (кремниевая

пластина 2x3 мм) и поляризованный источник света (лазерный диод с длиной волны 660 нм). Чувствительность к наличию на зеркале пленки конденсата будет тем выше, чем выше показатель преломления материала зеркала. Поэтому в качестве материала конденсационного зеркала использован кремний, имеющий хорошую теплопроводность (сравнимую с металлами) и высокий показатель преломления ($n= 4,2$) по отношению к показателям преломления конденсирующихся из газа веществ ($n= 1,3...1,5$).

2. Разделение конденсирующихся из газа влаги и углеводородов и их идентификация производится по различному перераспределению светового потока при отражении от их поверхности, что связано с различием коэффициентов поверхностного натяжения воды ($\sigma =71...75$ мН/м²) и углеводородов ($\sigma =10...21$ мН/м²). В результате этого, при отражении от поверхности пленки углеводородов происходит направленное отражение света. При отражении от пленки влаги, конденсирующейся в виде тумана (микрокапель) происходит направленно-диффузное отражение, которое по мере роста капель и их кристаллизации переходит в диффузное отражение. Для фиксации направленного, направленно-диффузного и диффузного отражения света от зеркала в датчике первичной информации используются три фотоприемника, расположенные в соответствии с рис.5. Фотоприемники расположены на одном уровне с источником излучения 1, свет которого линейно поляризован в плоскости падения и падает на зеркало 3 под углом Брюстера ($77,6...^\circ$ для границы «метан- кремний»).



3.

Рис. 5. Схема расположения фотоприемников:

1 – источник излучения (лазерный диод); 2 – конденсационное диэлектрическое зеркало; 3 – фотоприемник направленного отражения; 4 – фотоприемник направленно-диффузного отражения; 5 – фотоприемник диффузного отражения.

3. При наличии на зеркале равномерной пленки углеводородов на фотоприемнике направленного отражения света наблюдается интерференционная картина, на основании которой можно контролировать толщину и скорость роста пленки углеводородов при охлаждении зеркала [5].

Поведение информационных сигналов при конденсации углеводородов представлено на рисунке 6. Образование на зеркале неоднородной пленки влаги, конденсирующейся в виде капель, приводит к возникновению направленно-диффузного отражения, которое по мере роста капель или их кристаллизации (замерзания) переходит в диффузное отражение (рис.7) и фиксируется соответствующими фотоприемниками.

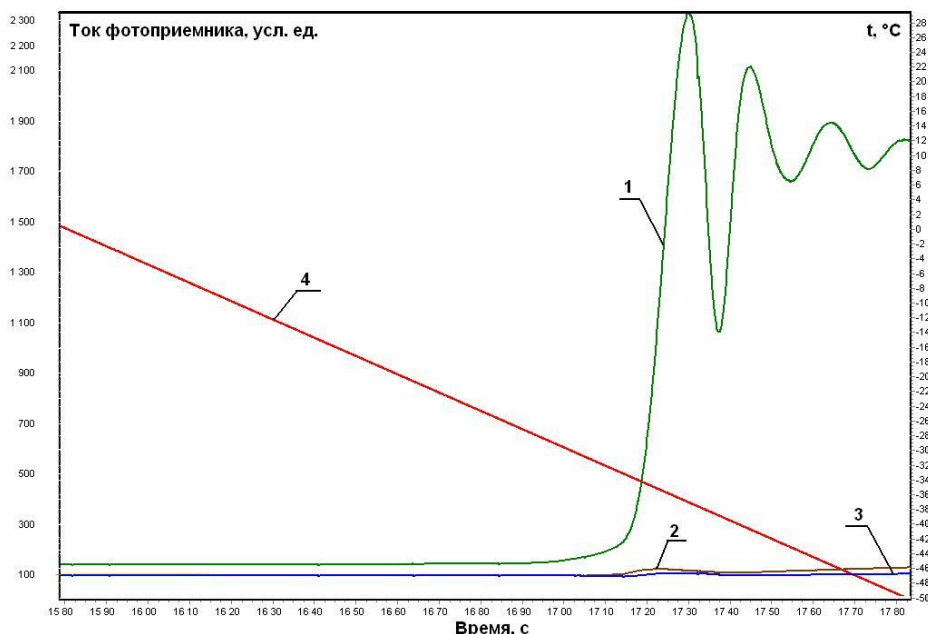


Рис.6. - Поведение информационных сигналов фотоприемников в зависимости от текущей температуры зеркала при конденсации углеводородов:

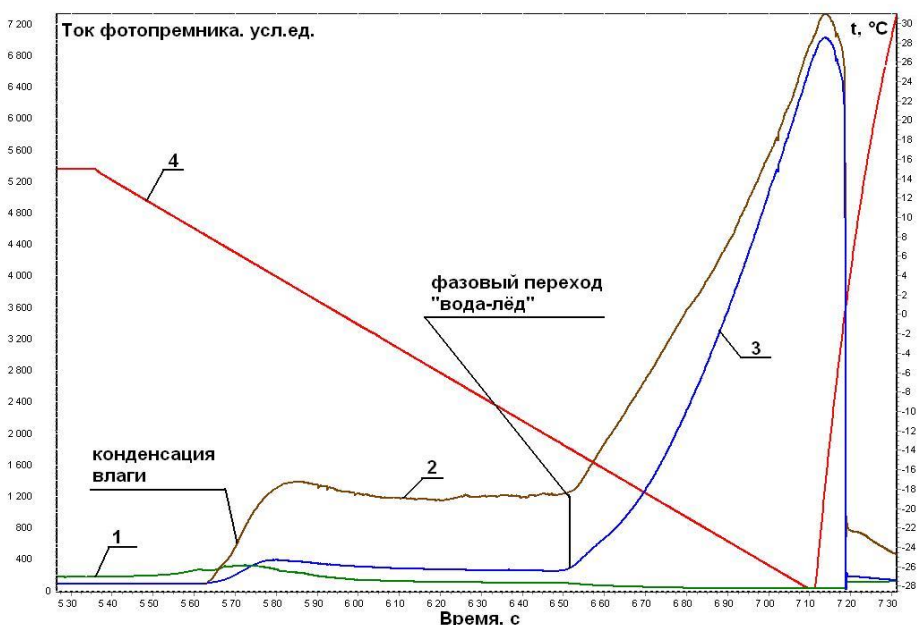


Рис.7. - Поведение информационных сигналов фотоприемников в зависимости от текущей температуры зеркала при конденсации влаги и ее последующей кристаллизации

- 1 - сигнал фотоприемника направленного отражения;
- 2 – сигнал фотоприемника направленно-диффузного отражения;
- 3 - сигнал фотоприемника диффузного отражения;
- 4 – температура конденсационного зеркала.

Таким образом, наличие трех информационных каналов (т.е. трех приемников фотосигнала) даёт возможность однозначно и с высокой степенью точности идентифицировать конденсацию на зеркале анализатора углеводородов и влаги, а также дополнительно определять момент фазового перехода «вода - лед» (или же «вода – газовый гидрат», в зависимости от состава и давления газовой среды). При этом важно отметить, что температуры точек росы газа по влаге и углеводородам могут определяться независимо от их взаимного (по температуре начала конденсации) расположения.

В качестве подтверждения данного вывода на рис.8 приведен график изменения информационных сигналов анализатора при конденсации углеводородов на зеркало, покрытое пленкой сконденсированной ранее влаги. Из графика следует, что при конденсации на зеркале влаги, определяемой по возрастанию сигнала направленно-диффузного и диффузного отражения, конденсация углеводородов на зеркало, покрытое слоем сконденсированной влаги, приводит к возрастанию сигнала направленного отражения при одновременном снижении величины сигналов диффузного отражения.

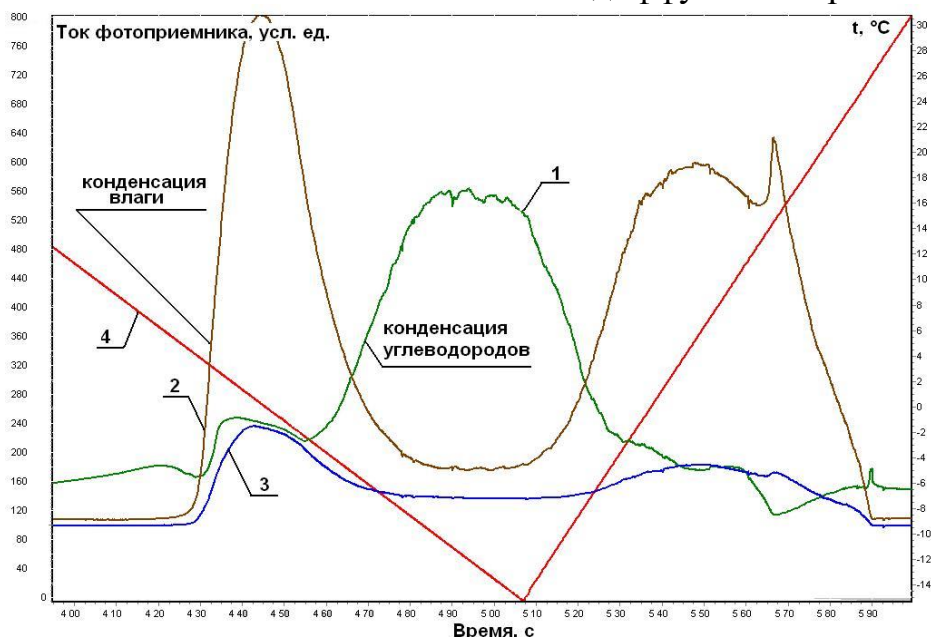


Рис.8. - Поведение информационных сигналов фотоприемников в зависимости от текущей температуры зеркала при конденсации углеводородов после влаги

- 1 - сигнал фотоприемника направленного отражения;
- 2 – сигнал фотоприемника направленно-диффузного отражения;
- 3 - сигнал фотоприемника диффузного отражения;
- 4 – температура конденсационного зеркала.

Таким образом, конденсирующиеся углеводородные фракции заполняют неоднородности поверхности конденсационного зеркала, образовавшиеся в результате конденсации влаги, и увеличивают ее отражающие свойства, что позволяет идентифицировать процесс конденсации углеводородов даже при наличии на зеркале сконденсированной влаги.

Заключение

Рассмотренные особенности лазерного интерференционного метода измерения точек росы по влаге и углеводородам реализованы в новом

серийно выпускаемом анализаторе «КОНГ-Прима-10». Основные преимущества разработанного метода измерения по сравнению с имеющимися на сегодняшний день средствами контроля качества природного газа по влаге и углеводородам состоят в следующем.

1. Существенно более высокая чувствительность к оптически прозрачным пленкам углеводородных фракций, конденсирующихся из газовой среды, обусловленная использованием эффекта полной поляризации света при отражении от поверхности диэлектрика (эффекта Брюстера).
2. Повышенная стабильность и достоверность измерений за счет использования трех различных информационных каналов.
3. Возможность определения точек росы по влаге и углеводородам независимо от взаимного расположения температур начала их конденсации из газа, а также принципиальная возможность измерения в одном цикле измерения нескольких точек росы (по влаге, углеводородам, льду, гидратам).
4. Контроль толщины и скорости роста пленки жидких углеводородов на основании наблюдаемой интерференционной картины по одному из каналов измерения.

Вышеуказанные преимущества позволяют сделать вывод о перспективности анализатора КОНГ-Прима-10 как инструмента исследования и контроля технологических процессов промышленной подготовки, транспорта и переработки природного и попутного нефтяного газов.

Особенности алгоритма измерения точек росы

Одновременное измерение точек росы по влаге и углеводородам возможно только конденсационным методом, т.к. для измерения точки росы углеводородов он является практически безальтернативным.

Как известно, измерение точки росы конденсационным методом сводится к выполнению трёх операций: охлаждения поверхности конденсационного зеркала, фиксации момента появления на зеркале конденсата (в виде росы или инея) и измерения температуры поверхности зеркала, соответствующей этому моменту. Способы выполнения этих операций определяют способ измерения и конструкцию используемого первичного преобразователя информации.

Среди зарубежных и отечественных гигрометров, реализующих измерение двух точек росы (по влаге и углеводородам) конденсационным методом можно выделить всего два прибора: канадский анализатор «Vovag» модель 241 и российский анализатор «КОНГ-Прима-4». В первом приборе конденсационная поверхность датчика поделена на две части: полированную (для фиксации точки росы по влаге) и матовую (для фиксации точки росы по углеводородам). Во втором приборе используется эффект нарушения полного внутреннего отражения света внутри оптического волокна (используется в качестве конденсационного зеркала) при образовании на нем пленки конденсата.

Из-за неудовлетворительных результатов измерений точки росы по влаге в присутствии конденсируемых раньше по температуре углеводородов, анализатор «Bovar» снят с производства. Анализатор «КОНГ-Прима-4», наоборот, обеспечивают стабильное измерение точки росы по влаге в присутствии ранее конденсируемых углеводородов. Однако, в силу используемого принципа регистрации, он имеет недостаточную чувствительность к конденсации прозрачных тонких пленок тяжелых углеводородных фракций, а также не может определять точку росы по углеводородам, если она одинакова или находится ниже по температуре точки росы по влаге.

Преимуществом анализатора «КОНГ-Прима-10» является возможность стабильного измерения точек росы газа по влаге и углеводородам независимо от их взаимного расположения по температуре и высокая чувствительность к конденсации углеводородов. Указанные преимущества достигаются за счет применения нового датчика первичной информации и особенностями алгоритма обработки первичной информации при определении точек росы по влаге и углеводородам.

Экспериментальное обоснование методики определения точек росы при их взаимном наложении по температуре

Температуры точки росы природного газа по влаге и углеводородам в зависимости от компонентного состава газа и конкретных термобарических условий проведения измерений могут иметь различное положение на температурной шкале. Учитывая тот факт, что кривая фазового равновесия углеводородсодержащих газов, рассчитываемая по кубическим уравнениям состояния Ван-дар-Вальсова типа, имеет явно выраженный максимум при давлениях газа 2,5...3,5 МПа, а рабочие давления в магистральном трубопроводе могут варьироваться в пределах 1,5... 8,0 МПа, при измерении точек росы в реальных условиях эксплуатации при рабочем давлении в трубопроводе, точка росы по углеводородам может лежать выше, совпадать или лежать ниже точки росы по влаге.

В анализаторе «КОНГ-Прима-10», в отличие от других существующих гигрометров задача определения точек росы по влаге и углеводородам независимо от температуры их конденсации решается за счет использования трех независимых каналов измерения (трех фотоприемников отраженного света). Возможность разделения конденсирующихся из газа влаги и углеводородов при их взаимном наложении доказана экспериментально путем визуализации информационных сигналов на мониторе компьютера. На рис.9 представлены графики изменения информационных сигналов в зависимости от текущей температуры зеркала при различном взаимном расположении точек росы по влаге и углеводородам.

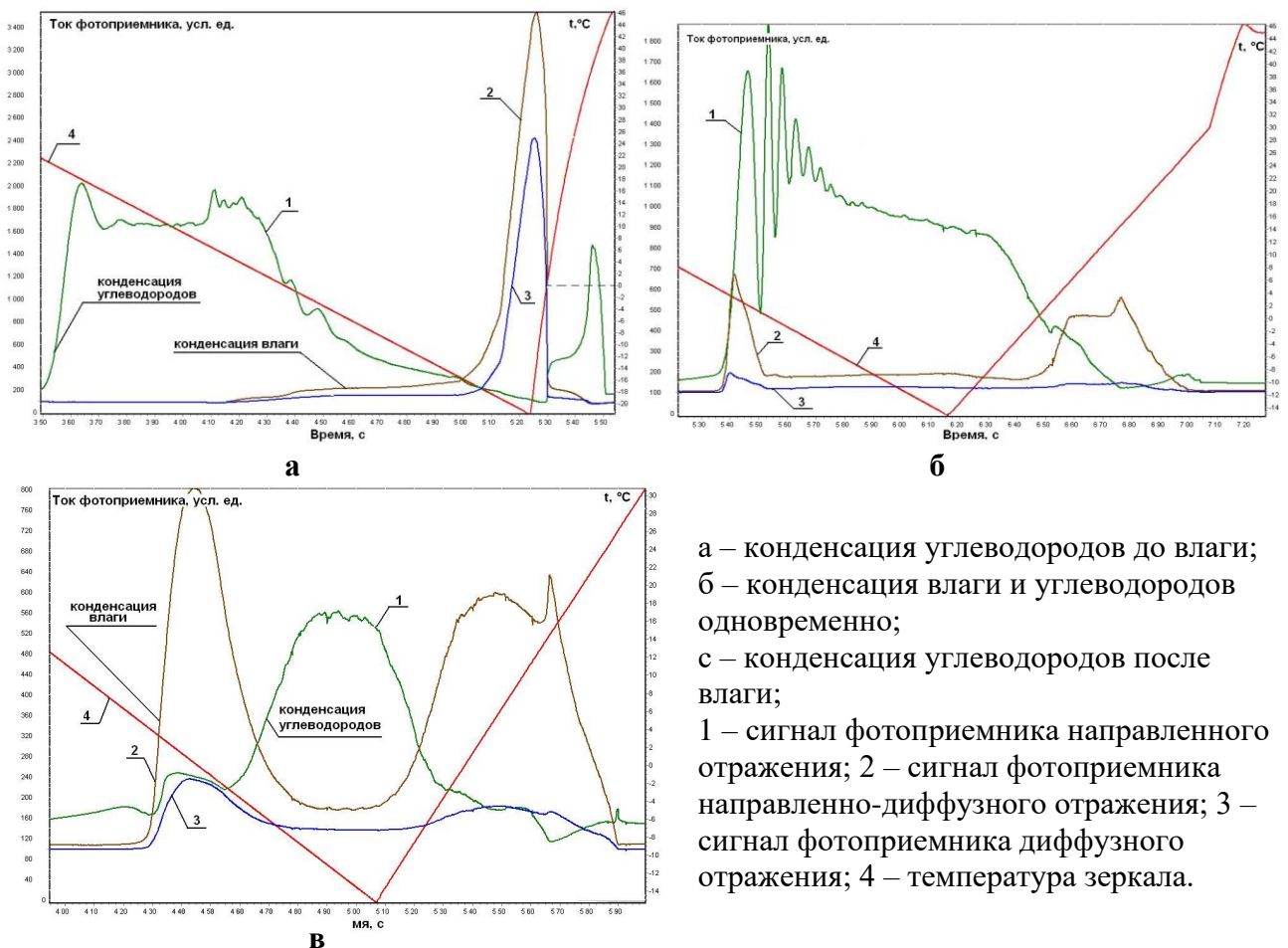


Рис. 9. Поведение информационных сигналов датчика первичной информации анализатора при конденсации влаги и углеводородов

Приведенные на рис. 2 графики показывают, что по поведению сигналов фотоприемников можно различать конденсирующиеся на зеркале влагу и углеводороды. Конденсация углеводородов фиксируется по увеличению сигнала направленного отражения, конденсация влаги – по увеличению сигнала направленно-диффузного и диффузного отражения.

На основании анализа поведения информационных сигналов при конденсации влаги и углеводородов разработан алгоритм измерения точек росы, реализованный в анализаторе «КОНГ-Прима-10».

2. Алгоритм измерения точек росы по влаге и углеводородам

В анализаторе точек росы «КОНГ-Прима-10» измерение точек росы по влаге и углеводородам производится в одном цикле измерения и состоит из следующих основных этапов:

1. Прогрев конденсационного зеркала при заданной температуре до гарантированного испарения с зеркала всех ранее сконденсированных флюидов;
2. Охлаждение зеркала с заданной скоростью и определение температуры конденсации по влаге и точки росы по углеводородам;
3. Нагрев зеркала до температуры испарения влаги и вычисление предварительной точки росы по влаге;

4. Точное определение точки росы по влаге путем ступенчатого изменения температуры зеркала;
5. нагрев зеркала до температуры прогрева.

Дадим характеристику каждого из этапов алгоритма измерения.

Прогрев конденсационного зеркала осуществляется при температуре 50 °С. Время прогрева определяется автоматически по поведению информационных сигналов датчика. Прогрев происходит до тех пор, пока не произойдет стабилизация сигналов всех фотоприемников.

Непосредственно измерение точки росы делится на два этапа. На рис. 10 представлен график, иллюстрирующий процесс измерения. Для повышения чувствительности анализатора к конденсации влаги в алгоритме измерения используется суммарный сигнал направленно-диффузного и диффузного отражения. Первый этап представляет собой процесс медленного охлаждения (0,2°С/с) зеркала, при котором определяются температура конденсации углеводородов $T_{сн}$ (по возрастанию сигнала 1) и температура конденсации влаги T_k (по возрастанию сигнала 2). После этого происходит нагрев зеркала, фиксируется температура испарения по воде T_u (по снижению сигнала 2) и определяется предварительная точка росы по воде $T_{p\text{ предв.}}$.

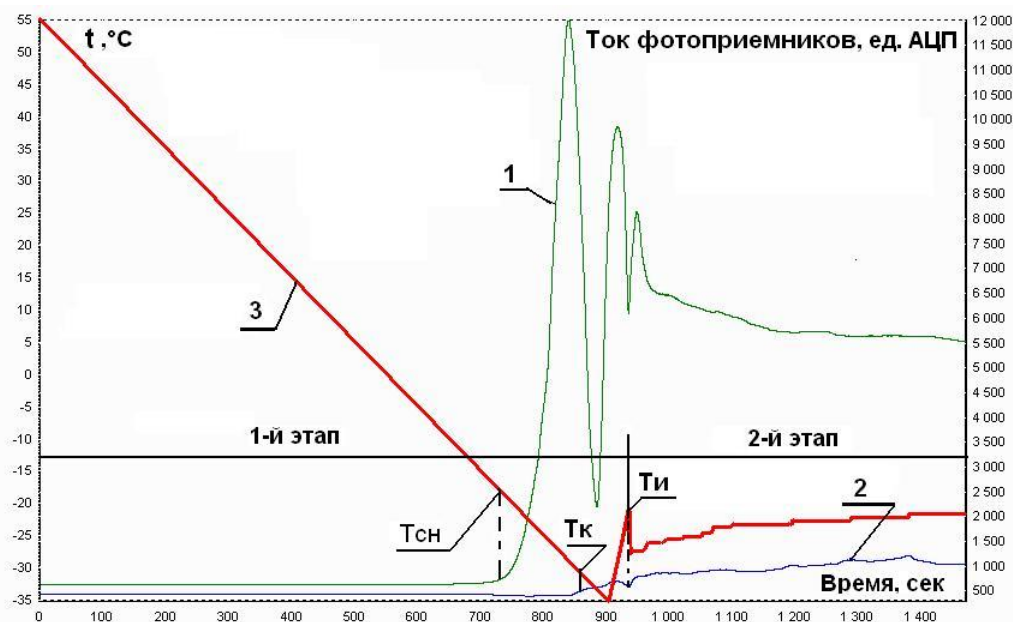


Рис 10. Иллюстрация алгоритма измерения: 1- сигнал направленного отражения; 2 – сигнал диффузного отражения (суммарный); 3 – температура зеркала)

На рис. 11 представлена блок-схема процесса поиска точки росы по углеводородам и предварительной точки росы по влаге.

Температура конденсации углеводородов определяется в момент увеличения сигнала направленного отражения на величину ΔU_n от начального уровня $U_{н0}$. Для того чтобы зафиксированная температура $T_{сн}$ была принята за точку росы по углеводородам, сигнал направленного отражения U_n в процессе охлаждения зеркала должен пересечь некоторый критический уровень фиксации углеводородов $U_{н\text{ кр}}$, выше которого сигнал

направленного отражения в случае отсутствия углеводородов не поднимается.

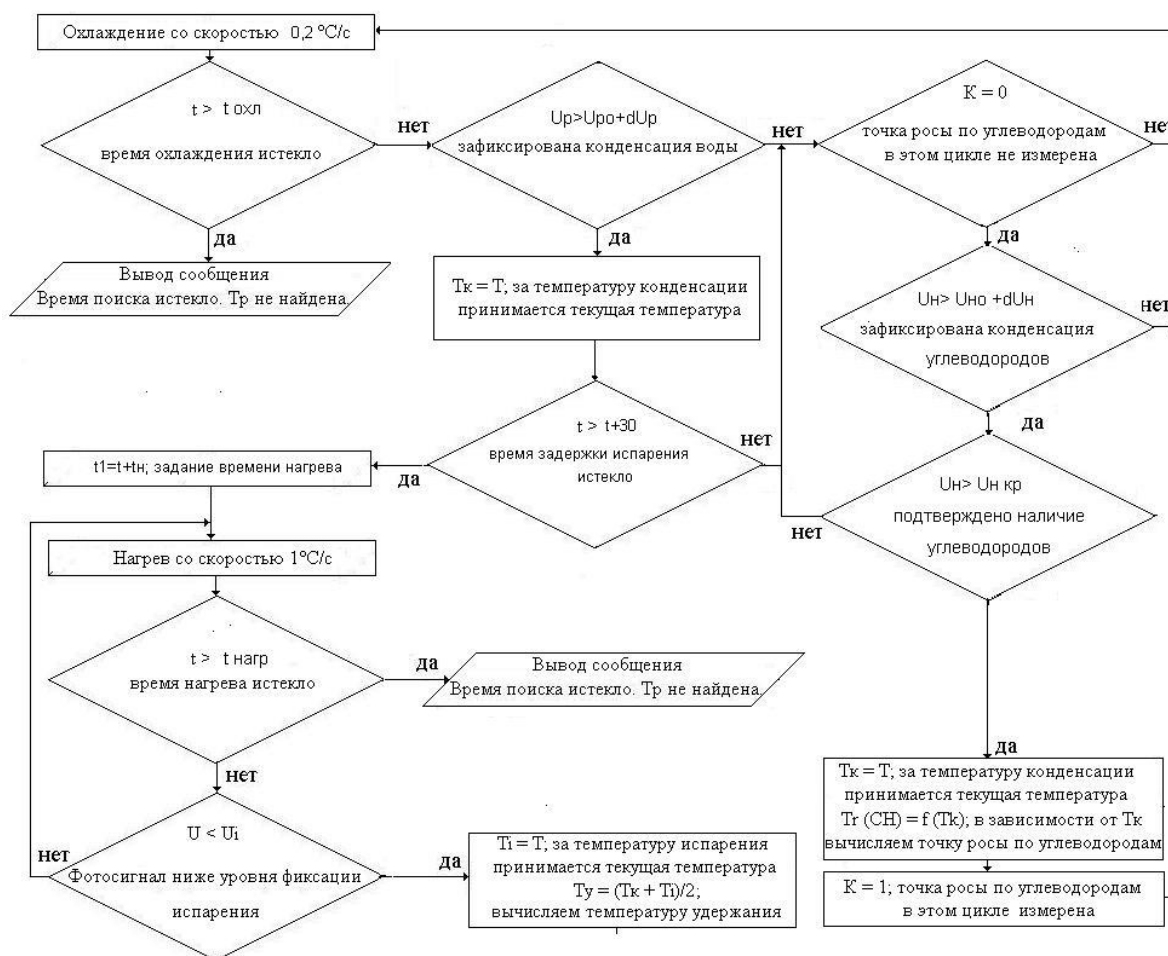


Рис. 11. Блок схема процесса поиска точки росы по углеводородам и предварительной точки росы по влаге

Температура конденсации по влаге T_k определяется в момент увеличения сигнала диффузного отражения на величину $\Delta U_{pк}$ от начального уровня U_{p0} . Если после определения температуры T_k , температура конденсации углеводородов $T_{сн}$ еще не определена, охлаждение зеркала продолжается в течение времени $t_{задерж}$, устанавливающего задержку испарения.

Продолжительность времени задержки определяется из условия: насколько ниже точки росы по влаге допускается измерение точки росы по углеводородам.

После определения температур конденсации T_k и $T_{сн}$ (или только T_k), происходит процесс нагрева зеркала со скоростью $1^\circ\text{C}/\text{с}$. Скорость нагрева выбрана большой в связи с ускорением процесса поиска температуры испарения, так как за время конденсации может произойти существенное увеличение сигнала диффузного отражения. Нагрев зеркала продолжается до тех пор, пока не будет зафиксировано снижение сигнала рассеянного отражения до уровня $U_{p0} + \Delta U_{pи}$, при котором фиксируется температура испарения $T_{и}$. Величина уровня фиксации испарения определяется из условия

обеспечения минимальной толщины пленки влаги на конденсационном зеркале.

На основании температур конденсации и испарения вычисляется предварительная точка росы по влаге, как $T_{p\text{предв}} = \frac{T_k + T_i}{2}$ и

происходит стабилизация зеркала на уровне температуры предварительной точки росы для более точного определения ее значения.

На рис. 12 представлена блок-схема процесса точного определения точки росы по влаге. На рис. 13 представлена графическая иллюстрация процесса точного определения точки росы.

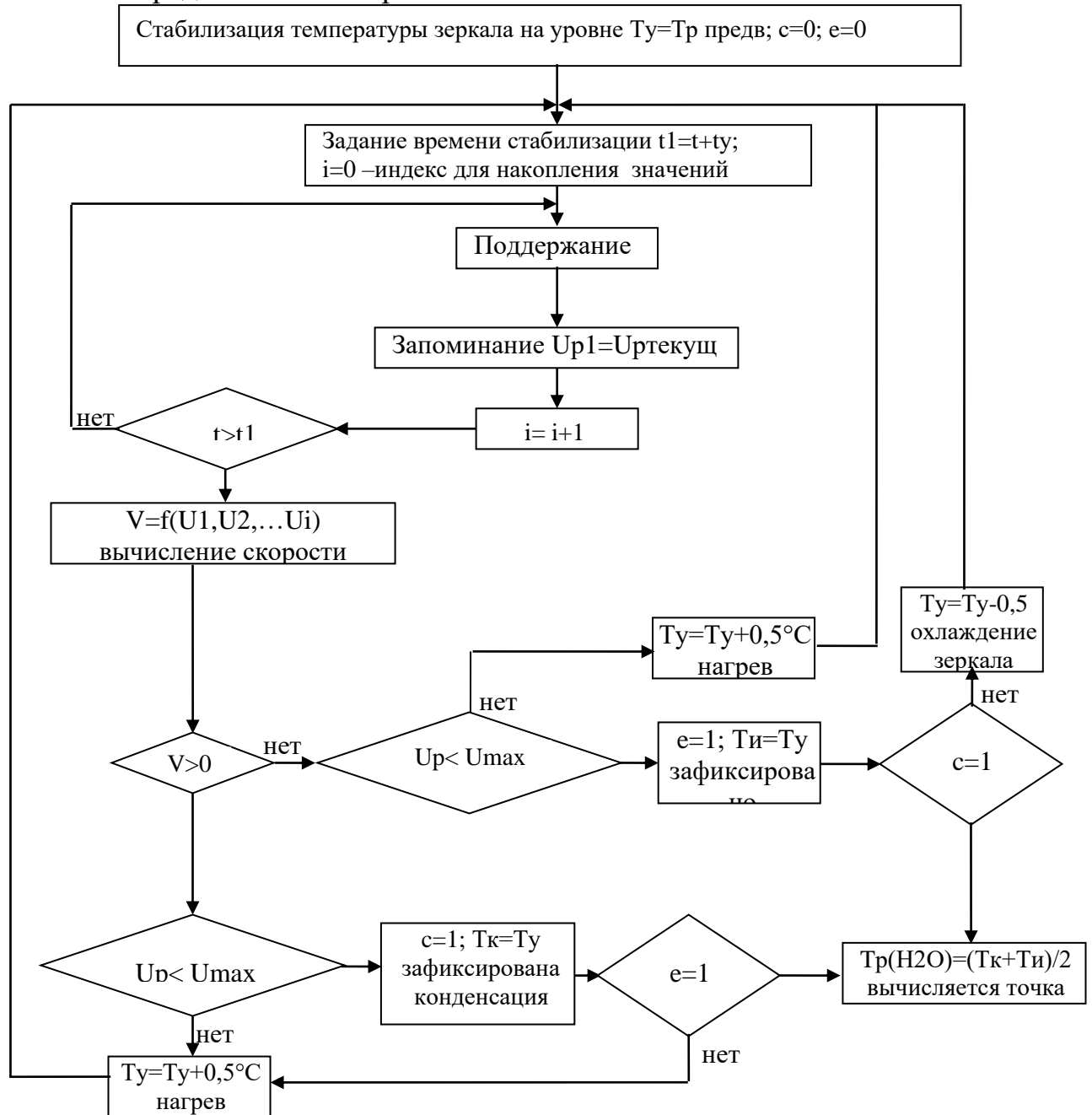


Рис.12. Блок-схема процесса определения точки росы по влаге

Суть процесса заключается в следующем. С помощью ПИД-регулятора температура зеркала в течение определенного времени удержания t_y стабилизируется при температуре равной $T_{p\text{предв}}$. По истечении времени

удержания определяется знак и скорость изменения сигнала диффузного отражения $V=f(Upi)$. Если скорость имеет положительный знак, значит идет процесс конденсации, если отрицательный – испарения. Затем происходит сравнение текущего уровня сигнала с допустимыми максимальным значением Up_{max} . Таким образом, на этом шаге производится контроль толщины пленки флюида при измерении. Если сигнал диффузного отражения находится выше Up_{max} , независимо от текущего процесса (конденсации или испарения), происходит нагрев зеркала на величину ΔT .

Если при стабилизации температуры зеркала сигнал диффузного отражения находится в допустимых пределах фиксируется температура конденсации T_k (если скорость изменения сигнала больше нуля) или температура испарения T_u (если скорость изменения сигнала меньше нуля). Как видно из рис. 6, при вычислении скорости изменения сигнала на участке стабилизации температуры производится линейная аппроксимация реального сигнала фотоприемника. Соответственно угол наклона аппроксимированной прямой определяет скорость и направление изменения сигнала диффузного отражения на данном участке.

Если, например, температура стабилизации принимается за температуру конденсации T_k , так как испарение еще не было зафиксировано, температура зеркала поднимается на величину ΔT (в рассматриваемом примере $0,5^\circ\text{C}$) и стабилизируется в течение времени t_y . Процесс циклически повторяется до тех пор, пока не будет зафиксирована температура испарения T_u .

При этом в каждом новом цикле обновляется температура конденсации. В результате точка росы по влаге вычисляется как среднее между двумя ближайшими температурами удержания, разница между которыми ΔT , на одной из которых наблюдался процесс испарения (снижение сигнала диффузного отражения), а на другой – процесс конденсации.

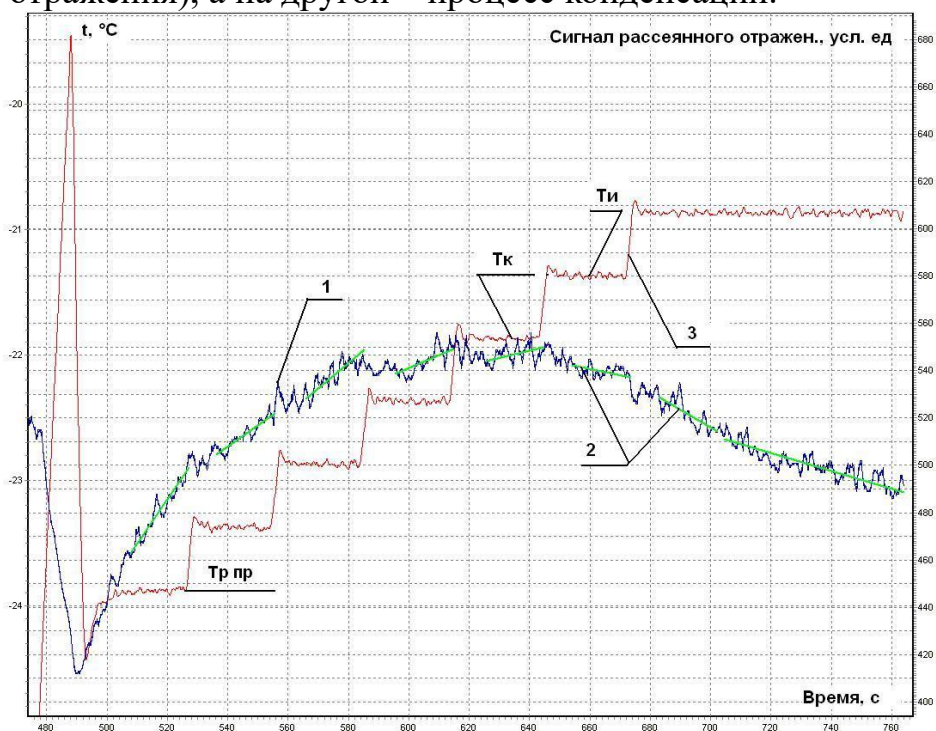


Рис. 13. Иллюстрация процесса точного определения точки росы по влаге:
1 – сигнал рассеянного отражения; 2 – линейная аппроксимация сигнала
рассеянного отражения; 3 – текущая температура зеркала

Если при стабилизации температуры зеркала равной предварительной точке росы наблюдался процесс испарения, то сначала фиксируется температура испарения T_u и температура зеркала будет циклически понижаться с шагом ΔT , до тех пор, пока не будет зафиксирована температура конденсации T_k .

Для повышения точности измерения, анализ отраженных сигналов производится при поддержании на зеркале тонких пленок флюида (до 500 нм). В этом случае сигнал диффузного отражения не превышает 1000 усл. единиц АЦП (рис.6).

Таким образом, повышение точности измерения точки росы по углеводородам достигается за счет высокой чувствительности схемы к тонким пленкам углеводородов, а точность измерения точки росы по воде определяется величиной шага изменения температуры зеркала на втором этапе измерительного цикла.

Заключение

Рассмотренные выше методика и алгоритм измерения точек росы природного газа прошли многочисленные лабораторные и промышленные испытания и в настоящее время используются в серийно выпускаемых приборах [6]. Результаты испытаний подтвердили высокую точность и стабильность измерений, высокую чувствительность к тонким пленкам тяжелых углеводородов, а также достоверность измерений в реальных условиях эксплуатации.

В результате метрологических испытаний на образцовых средствах задания влажности, проведенных в Восточно-Сибирском НИИ физико-технических и радиотехнических измерений (г. Иркутск), в котором хранится государственный эталон влажности газов, показано, что анализатор «КОНГ-Прима-10» на чистых газах (азот, воздух) обеспечивает основную погрешность измерения точки росы по воде на уровне образцовых средств нулевого разряда ($\pm 0,1^\circ\text{C}$). По результатам этих испытаний и испытаний, проведенных в ООО «НПФ «Вымпел» на рабочем эталоне нулевого разряда «КОНГ-Эталон», анализатор «КОНГ-Прима-10» включен в Государственную поверочную схему средств измерения влажности.

Определение погрешности измерения анализатором точки росы по углеводородам производилось на чистых углеводородных газах с известными термодинамическими свойствами: этане и пропане и синтетических смесях с известным компонентным составом. Испытания проводились как в России, так и за рубежом (в компаниях СНАМ (Италия) и Рургаз (Германия)). По результатам испытаний анализатор показал высокие точностные характеристики, на основании которых включен в крупный международный исследовательский проект, организованный по заказу ведущих газовых компаний западной Европы в качестве средства измерения точки росы по углеводородам.

По результатам промышленных испытаний в различных условиях анализатор рекомендован к применению на объектах ОАО «Газпром».

3. Основные результаты испытаний анализатора «КОНГ-Прима-10»

В настоящее время Анализатор является серийным промышленным прибором, предназначенным для измерения температур точки росы по влаге и углеводородам и имеет официальное наименование «Анализатор точек росы интерференционный КОНГ-Прима-10».

Внешний вид Анализатора в одном из конструктивных исполнений представлен на рисунке 1. Преобразователь точки росы (ПТР) Анализатора внешне практически не отличается от предыдущих моделей гигрометров серии «КОНГ-Прима», что позволяет без дополнительных затрат производить переоснащение нефтегазовой отрасли новыми приборами.



Рисунок 1. - Внешний вид Анализатора «КОНГ-Прима-10»
(слева-направо: блок питания, преобразователь точки росы, интерфейсный блок)

Анализатор имеет все необходимые сертификационные документы, разрешающие его применение в Российской Федерации.

- **сертификат об утверждении типа средства измерений RU.C.31.008.A №19402**, выданный Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии, действительный до 01 декабря 2009 г., подтверждает, что «Анализатор точек росы интерференционный «КОНГ–Прима–10»» зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений под №28228-04 и допущен к применению в Российской Федерации;
- преобразователи точки росы, входящие в состав Анализатора и устанавливаемые во взрывоопасных зонах являются взрывозащищенными – **сертификат соответствия ЦС СТВ № РОСС RU. ГБ04. В00420**, действительный до 30 сентября 2008 года;

- **разрешение на применение № РРС 00-19610**, выданное Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору на основании сертификата соответствия ЦС СТВ № РОСС RU. ГБ04. В00420 и действительное до 08 февраля 2009 г., разрешает применение Анализатора на поднадзорных производствах и объектах в соответствии с Руководством по эксплуатации;
- предприятие-изготовитель имеет **Сертификат соответствия системы менеджмента качества № РОСС RU.ИК.06.К00002** применительно к производству Анализатора точек росы интерференционного «КОНГ-Прима-10» по требованиям ГОСТ Р ИСО 9001-2001, выданный Госстандартом России;
- предприятие-изготовитель имеет **лицензию на изготовление и ремонт средств измерений, № 000697 -ИР**, выданную Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии, действительную до 04 апреля 2010 г.

С января 2006 года начато серийное производство Анализаторов «КОНГ-Прима-10». Применительно к газовой промышленности, Анализатор может использоваться на установках комплексной подготовки природных газов (УКПГ), в системах автоматического регулирования процессов осушки природного газа, на газоизмерительных станциях (ГИС) при транспортировке газа, на станциях подземного хранения газа (СПХГ) и автомобильных газонаполнительных компрессорных станциях (АГНКС) для контроля степени доосушки газа.

Перечисленные направления технологического использования Анализатора подтверждены многочисленными испытаниями, проведенными в различных условиях эксплуатации и различных климатических зонах.

Результаты испытаний Анализатора в промышленных условиях эксплуатации

Все испытания Анализатора на действующих объектах газовой отрасли можно разделить на две основные группы. К первой группе относятся испытания с целью подтверждения метрологических характеристик Анализатора при работе в природном газе. Ко второй группе относятся испытания с целью подтверждения эксплуатационных характеристик Анализатора: надежности, стойкости к загрязнениям, удобства эксплуатации и технического обслуживания. Кратко остановимся на основных результатах проведенных испытаний.

Испытания с целью проверки метрологических характеристик

1. *Испытания на магистральном газе с различным компонентным составом и качеством подготовки*

Анализатор «КОНГ-Прима-10» испытывался на ГИС Александрово-Гайского ЛПУ МГ ООО «Югтрансгаз». Испытания проводились на различных газовых потоках:

- ГИС «Средняя Азия – Центр 3» - неосушенный газ, поступающий из Казахстана («туркменский газ») с механическими и аэрозольными примесями после компримирования;
- ГИС «Оренбург-1» - газ, прошедший технологическую подготовку и осушку.

Первичный преобразователь Анализатора устанавливался непосредственно на трубопроводе без дополнительной системы газоподготовки и фильтрации. Интерфейсный блок размещался в обогреваемом боксе (рисунок 2).

Показания Анализатора «КОНГ-Прима-10» сравнивались с показаниями гигрометров «КОНГ-Прима-2» и «КОНГ-Прима-10», находящихся в коммерческой эксплуатации на указанных ГИС.

Показания Анализатора «КОНГ-Прима-10» и Преобразователя точки росы «КОНГ-Прима-2» на ГИС «Средняя Азия – Центр 3» приведены на рисунке 3. Условия работы анализатора: неосушенный газ с механическими и аэрозольными



Рисунок 2. - Внешний вид установки анализатора на ГИС

примесями после компримирования. Давление исследуемого газа 4,7 МПа, температура +34,5 °С.

Сравнение показаний Анализатора «КОНГ-Прима-10» со штатным прибором «КОНГ-Прима-4» на ГИС «Оренбург-1» приведено на рисунке 4.

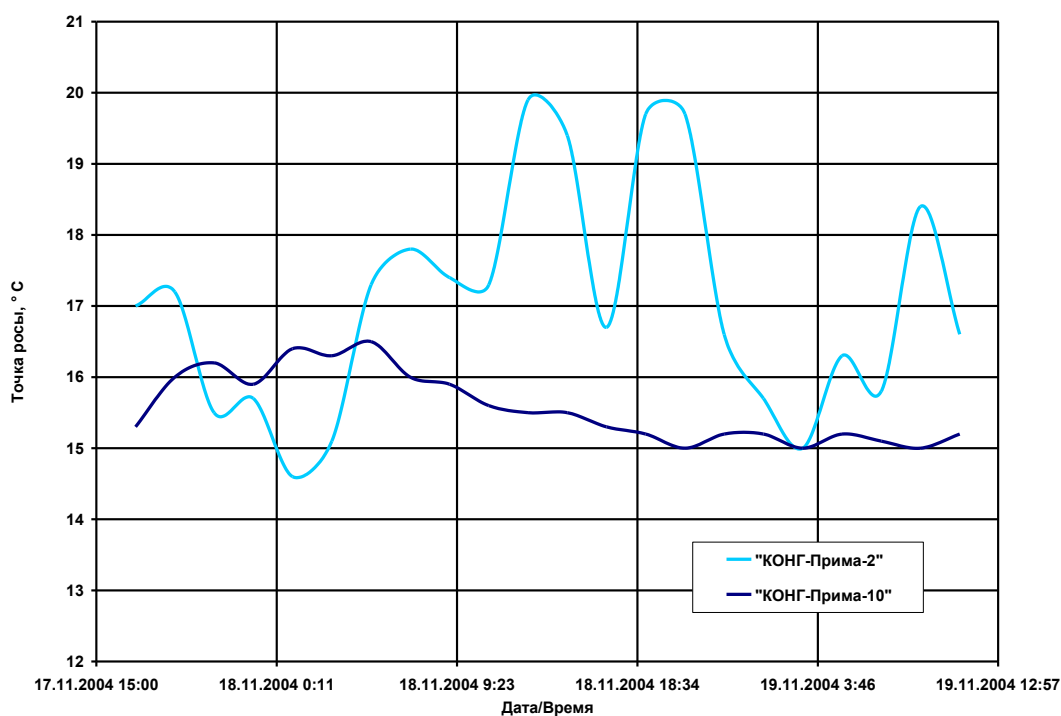


Рисунок 3. Результаты работы Анализатора «КОНГ-Прима-10» на ГИС «Средняя Азия – Центр 3»

Условия работы Анализатора: газ прошедший технологическую подготовку и осушку с наличием конденсируемых ранее влаги углеводородов и с незначительным количеством механических и аэрозольных примесей. Давление исследуемого газа 3,7 МПа, температура +12 °С.

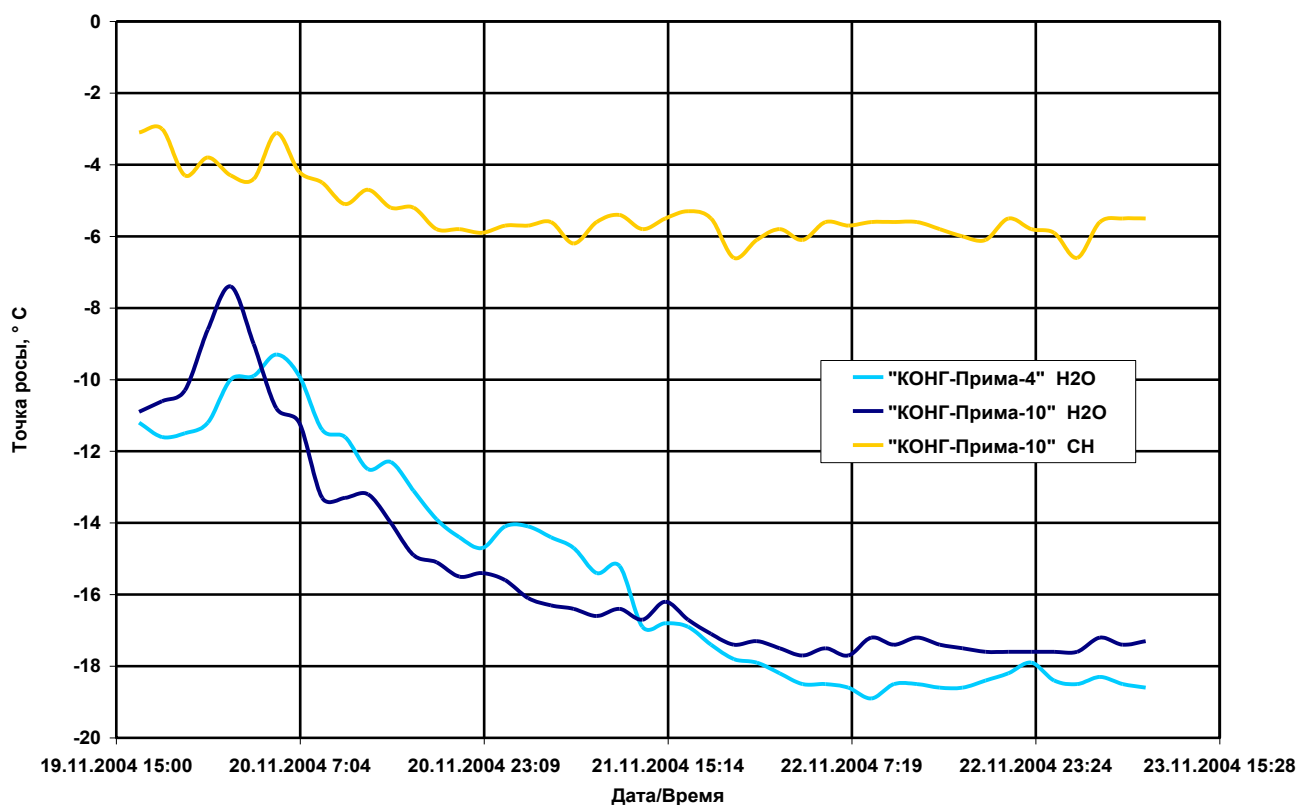


Рисунок 4. - Результаты работы анализатора «КОНГ-Прима-10» на ГИС «Оренбург-1»

Результаты работы Анализатора на ГИС «Средняя Азия – Центр 3» свидетельствуют о его более стабильной работе по сравнению с прибором «КОНГ-Прима-2». Это связано с периодическим загрязнением чувствительного элемента прибора «КОНГ-Прима-2», в то время как зеркало Анализатора «КОНГ-Прима-10» за указанный период не загрязнялось.

Результаты работы анализатора на ГИС «Оренбург-1» свидетельствуют о его более высокой чувствительности к тонким пленкам тяжелых углеводородов. Штатный анализатор «КОНГ-Прима-4» в этот период не обнаруживал наличия ранее конденсируемых углеводородов.

Проверка метрологических характеристик Анализатора после испытаний показала соответствие погрешности измерения заявленным требованиям ($\pm 1^\circ\text{C}$).

2. Испытания Анализатора на станции подземного хранения газа после установки абсорбционной осушки газа

Испытания проводились на Елшанской СПХГ ООО «Югтрансгаз».

Анализатор «КОНГ-Прима-10» был установлен вместе со штатным гигрометром «КОНГ-Прима-2» на параллельных струнах замерного узла (ЗУ) СПХГ. Условия проведения испытаний: газ после механической очистки и установки абсорбционной осушки.

Результаты совместной работы Анализатора «КОНГ-Прима-10» и гигрометра «КОНГ-Прима-2» представлены на рисунке 5. Можно отметить стабильную работу Анализатора за весь период испытаний.

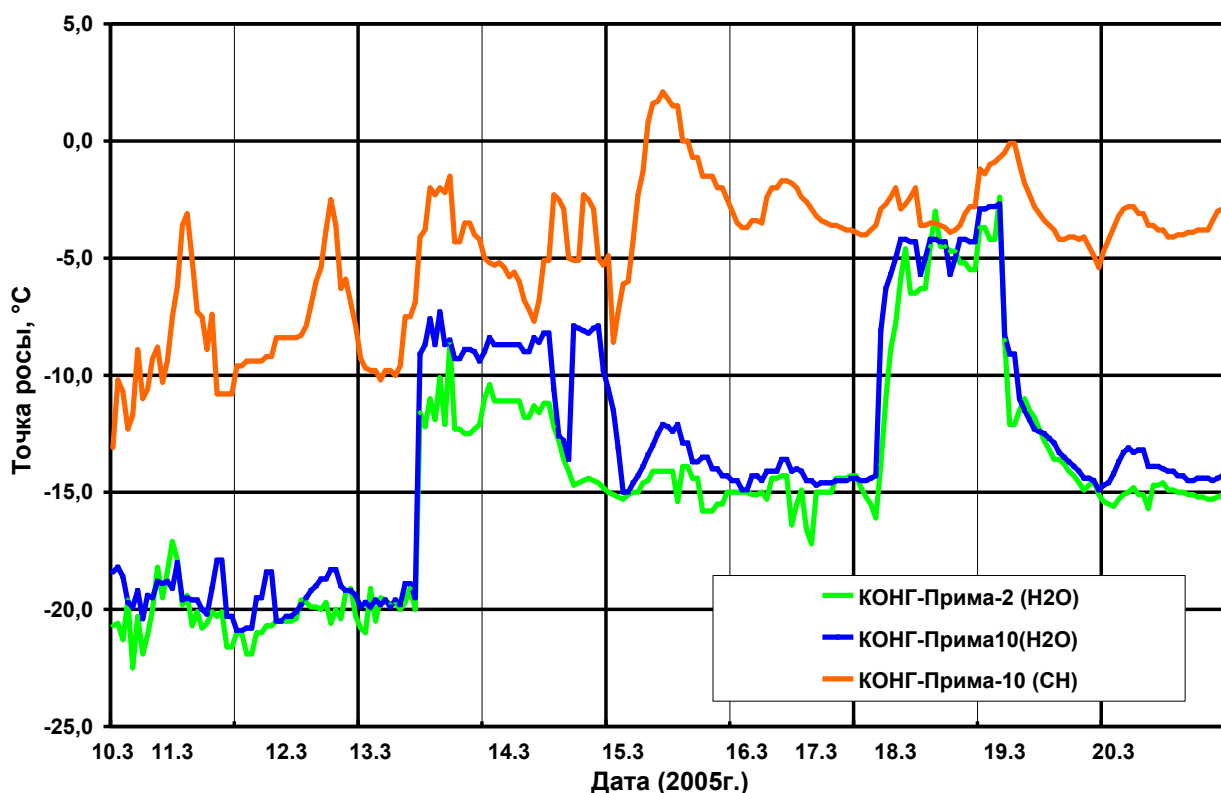


Рисунок 5. - Результаты работы приборов на ЗУ Елшанской СПХГ

Более детальный анализ результатов измерения приборами температуры точки росы показывают, что показания анализатора «КОНГ-

Прима-10» являются более стабильными, и он более адекватно реагирует на изменение технологических режимов работы установки абсорбционной осушки газа.

На рисунке 6 приведен пример, подтверждающий более адекватную реакцию Анализатора «КОНГ-Прима-10» на изменение технологических параметров.

В период с 11:00 до 17:00 22.03.05 наблюдалось увеличение расхода газа через установку осушки с 200 до 250 тыс. м³/час (в расчете на одну струну). Увеличение расхода газа при условии, что абсорбер до этого работал в оптимальном режиме должно привести к снижению глубины осушки газа, что подтверждается показаниями анализатора «КОНГ-Прима-10». Показания же гигрометра «КОНГ-Прима-2» продолжали уменьшаться.

Анализатор «КОНГ-Прима-10» среагировал на эти изменения повышением точки росы по влаге, в то время как показания гигрометра «КОНГ-Прима-2» за исключением короткого периода (с 7:00 23.03 до 17:00 24.03) оставались на уровне минус 15°С.

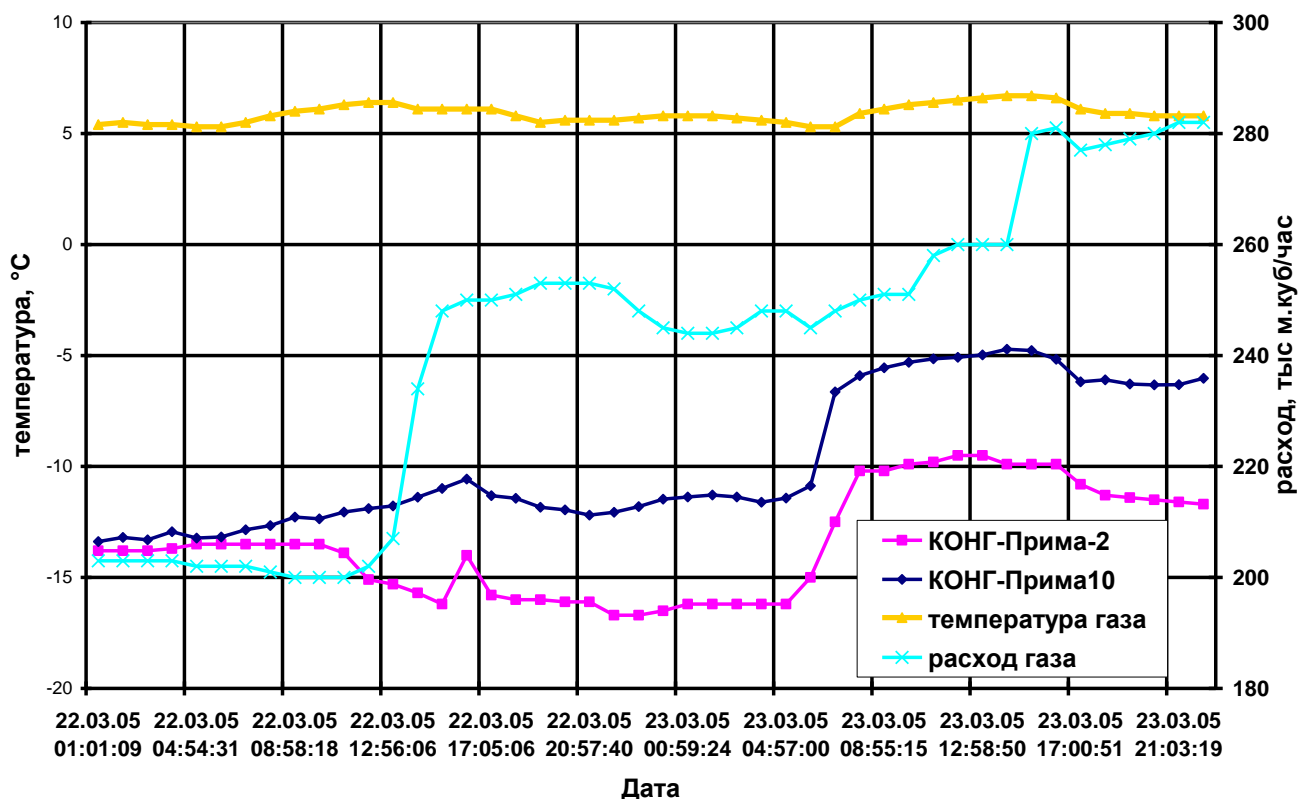


Рисунок 6. - Реакция приборов на изменение температуры и расхода газа

3. Приемочные испытания Анализатора

Испытания производились на ГИС «Оренбург-2» Александрово-Гайского ЛПУ МГ ООО «Югтрансгаз».

Условия работы Анализатора: сырой газ с температурой точки росы близкой или равной температуре газа, содержащий механические и

аэрозольные примеси в виде капельной влаги и нефтепродуктов. Давление исследуемого газа 4,3 МПа, температура +14...16 °С.

Результаты совместной работы Анализатора «КОНГ-Прима-10» и прибора «КОНГ-Прима-2» приведены на рисунке 7. График построен по данным, хранящимся в памяти Анализатора и данным диспетчерской службы.

По результатам приемочных испытаний Анализатор точек росы интерференционный «КОНГ-Прима-10» признан соответствующим требованиям ТУ и рекомендуется к серийному производству и применению в качестве средства измерения температуры точки росы по влаге и углеводородам.

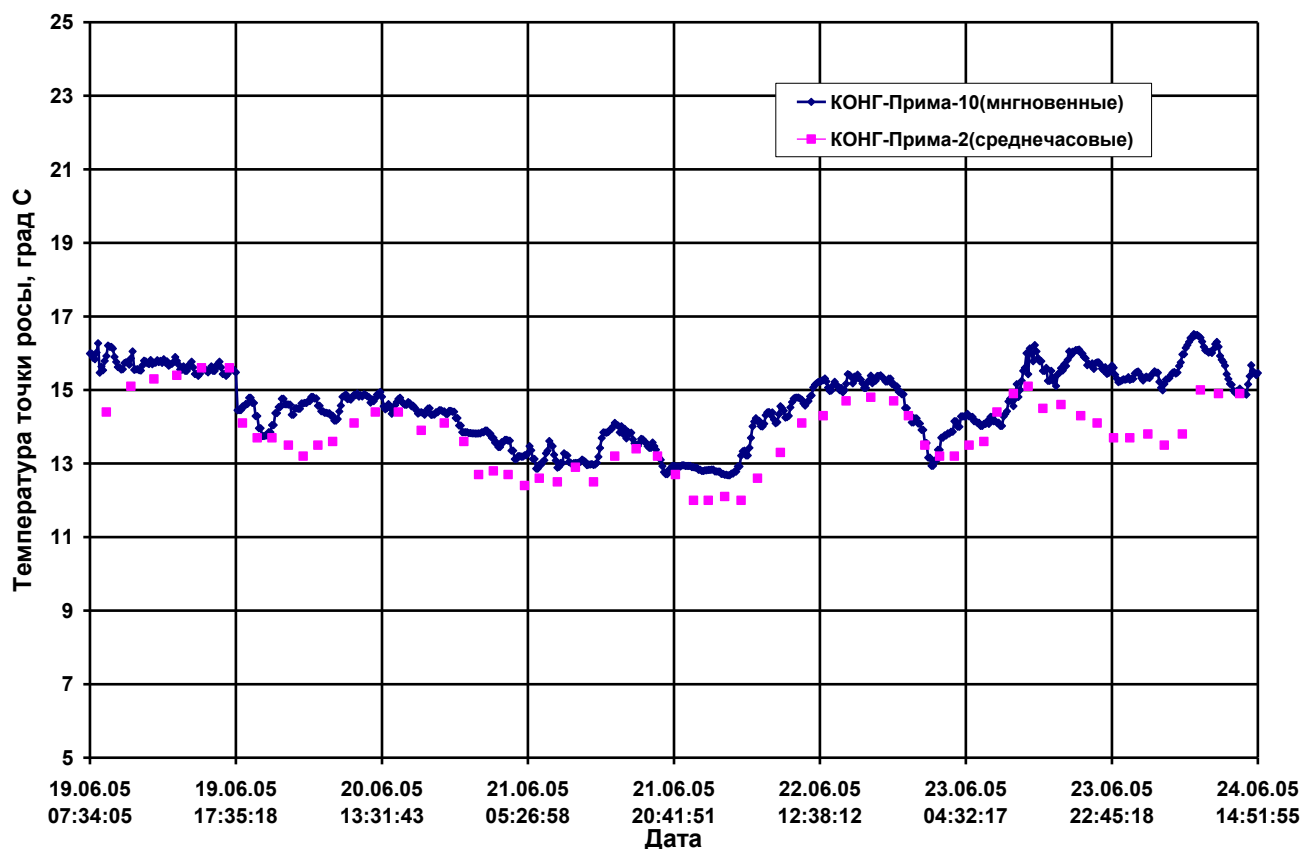


Рисунок 7. - Результаты работы Анализатора на ГИС «Валуйки»

Испытания с целью проверки эксплуатационных характеристик

1. Опытно-промышленная эксплуатация анализатора на ГИС «Оренбург-2» Александрово-Гайского ЛПУ МГ ООО «Югтрансгаз»

После проведения приемочных испытаний, Анализатор «КОНГ-Прима-10» в июле 2005 года был установлен в опытную-промышленную эксплуатацию на ГИС «Оренбург-2» Александрово-Гайского ЛПУ МГ. Анализатор эксплуатировался в условиях неконденсационного газа, содержащего механические и аэрозольные примеси в виде капельной влаги и нефтепродуктов. Измеряемая температура точки росы близка к температуре газа. По отзывам специалистов эксплуатирующей организации, за указанный

период (более 12 месяцев), Анализатор проработал без сбоев. Техническое обслуживание анализатора, связанное с загрязнением зеркала за указанный период производилось 2 раза. В то же время чистка чувствительного элемента штатного гигрометра «КОНГ-Прима-2», установленного на этой ГИС производится в среднем еженедельно.

2. Испытания Анализатора «КОНГ-Прима-10» на УЗГ «Валуйки» ООО «Мострансгаз»

Решение о проведении испытаний Анализатора на ГИС «Валуйки» ООО «Мострансгаз» было принято в связи с частыми загрязнениями чувствительного элемента штатных измерителей точки росы – преобразователей «КОНГ-Прима-2». Условия работы Анализатора: сырой газ, транспортируемый из Средней Азии с температурой точки не соответствующий требованиям ОСТ51.40-93. Давление исследуемого газа 4...4,7 МПа. ГИС «Валуйки» расположена на границе России и Украины.

После установки непосредственно на трубопроводе (без фильтрующих элементов) в апреле 2006 г. с участием представителей ООО «НПФ «Вымпел», Анализатор «КОНГ-Прима-10» показал стабильную работу в течение последующих трех месяцев эксплуатации. За этот период технического обслуживания Анализатора не потребовалось. Показания температуры точки росы по влаге за этот период представлены на рисунке 8.

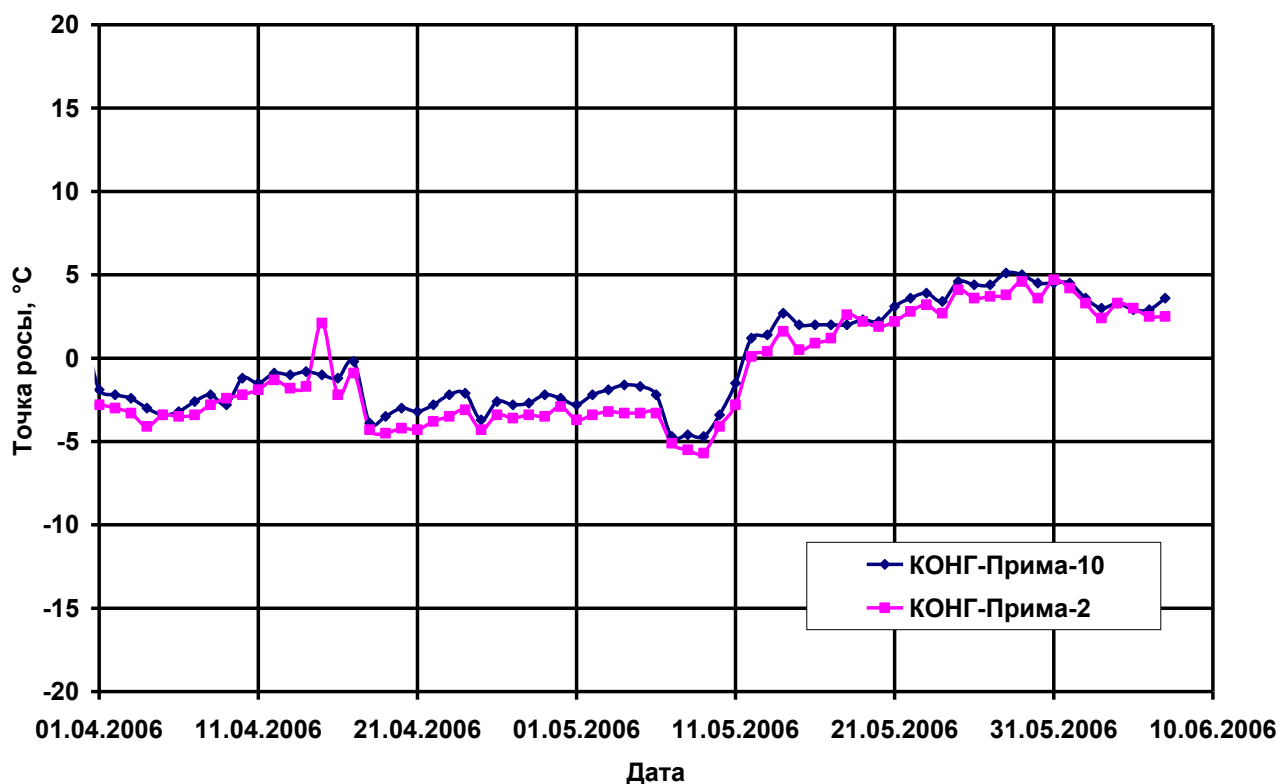


Рисунок 8. - Результаты измерения температуры точки росы гигрометрами "КОНГ-Прима-2" и "КОНГ-Прима-10" на ГИС "Валуйки"

3. Промышленные испытания Анализатора «КОНГ-Прима-10» в северных условиях

Анализатор «КОНГ-Прима-10» был установлен 25 сентября 2005 года на УКПГ-1С Заполярного ГНКМ ООО «Ямбурггазодобыча» непосредственно на трубопроводе. Условия работы Анализатора: газ после гликолевой осушки с температурой 0...5 °С и давлением 7,0 МПа; измеряемая температура точки росы -20...-22 °С.

На УКПГ-1С для контроля влажности установлены преобразователи точки росы «КОНГ-Прима-2», требующие частого технического обслуживания, связанного с загрязнением чувствительного элемента. В отличие от них, Анализатор работает без загрязнения чувствительного элемента и имеет более стабильные показания. Анализатор в настоящее время продолжает эксплуатироваться в ООО «Ямбурггазодобыча». Результаты испытаний признаны удовлетворительными. По результатам испытаний отмечено, что «...новое поколение Анализаторов «КОНГ-Прима-10» обладает большей надежностью за счет внедрения новых технических решений в конструкцию ПТР».

ВЫВОДЫ

1. Анализ эксплуатационных и метрологических характеристик Анализатора «КОНГ-Прима-10», проведенный на основе представленных выше результатов работы в различных условиях эксплуатации и положительные отзывы эксплуатирующих организаций позволяют констатировать, что Анализатор представляет собой законченный промышленный образец прибора для измерения температуры точки росы по влаге и углеводородам в природном газе. Анализатор обладает высокой надежностью и стабильными метрологическими характеристиками и соответствует лучшим мировым аналогам.
2. По результатам проведенных в августе 2006 года ведомственных испытаний, Анализатор «КОНГ-Прима-10» по метрологическим и эксплуатационным параметрам соответствует техническим требованиям и рекомендуется к применению на объектах ОАО «Газпром».
3. О высоком техническом уровне Анализатора «КОНГ-Прима-10» свидетельствует его признание в Западной Европе. Сейчас находятся в стадии завершения тестовые испытания Анализатора в компании SNAM (Италия), начаты испытания в центральной тестовой лаборатории компании E-ON RUHRGAS (Германия), ведется подготовка к испытаниям в Норвегии, организованным группой GERG.

Тема 7. Эталонное оборудование серии КОНГ.

1. Генератор влажности «КОНГ».

Для метрологического обеспечения (поверки) влагомеров практически до самого последнего времени в газовой промышленности

применялось в основном стационарное оборудование, требующее как постоянного внимания со стороны высококвалифицированного персонала, так и большого количества дорогостоящих расходных материалов (жидкий азот, очищенный воздух, газообразный азот, специальные фильтры, осушители, компрессоры и т.д.). К этому оборудованию относятся наиболее распространённые в газовой промышленности динамические генераторы влажности «Родник-2» и «Родник-3», генератор «Полюс-1», зарубежные генераторы «Ендрюс-Хаузер» и переносной генератор «Панаметрикс» (массой ~50 кг). Кратко остановимся на основных принципах функционирования имеющихся технических средств поверки влагомеров.

1. Принцип двух давлений (динамические генераторы влажности «Родник-2» и «Родник-3»). Сущность метода состоит в насыщении газа влагой при определенном повышенном давлении P_1 и последующем изотермическим расширением его до атмосферного давления P_2 .

Вследствие чего парциальное давление водяного пара уменьшается пропорционально общему давлению газа, а относительная влажность в рабочем объеме определяется соотношением

$$\varphi = P_2/P_1$$

Кроме относительной влажности генератор «Родник-2» аттестован по объемной доле влаги и по температуре точки росы в диапазоне от минус 33 °С до +54°С.

Объемная доля влаги определяется по формуле

$$V = P_a/P_1 * V_n$$

P_a – нормальное атмосферное давление равно 101,3 кПа;

V_n – табличное значение насыщения водяного пара при температуре термостатирования насытителя и давлении 101,3 кПа (определяется по таблицам Вукалович М.П. Ривкин С.П. Александров А.А., Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара, Издательство Стандартов, М., 1969.).

Температура точки росы по влаге определяется по величине V с помощью тех же таблиц. Таким образом, в погрешность объемной доли влаги, и точки росы входит погрешность используемых справочных данных (таблиц). Для диапазона температуры от 0 до минус 70°С разработан генератор «Родник-3» построенный по тому же принципу. На текущий момент серийно генераторы («Родник-2» и «Родник-3») не выпускаются. Данные генераторы используются в Центрах стандартизации и метрологии в городах – Саратов, Москва, Надым. К недостаткам данного типа генераторов следует отнести сложность и громоздкость конструкции, отсутствие какой-либо автоматизации, длительный выход на режим (до 4-х часов), высокие требования к квалификации обслуживающего персонала, наличие расходных материалов (очищенного воздуха или азота под высоким давлением). Точность воспроизведения единицы влажности составляет 0,01% относительной влажности, что соответствует 0,2°С.

2. Принцип достижения фазового равновесия над жидкой или твердой фазой (генератор «Полюс»). Сущность этого метода состоит в насыщении газа влагой при известной температуре над жидкой или твердой фазой воды или льда.

После насыщения газа в сатураторе (насытителе) увлажненный газ подается в измерительную камеру поверяемого гигрометра. Для повышения точности метода измеряют давление в сатураторе и измерительной камере гигрометра. Если перепад давления между камерой насыщения и гигрометром пренебрежимо мал, то температура сатуратора T , при которой устанавливается фазовое равновесие между паром и жидкой (твердой) фазой, и является точкой росы T_r (либо инея T_i). Если же имеется некоторый перепад давления, то парциальное давление водяного пара в измерительной камере поверяемого гигрометра уменьшается пропорционально общему давлению:

$$e = E_n \cdot P_2 / P_1$$

где e - парциальное давление в измерительной камере гигрометра;

E_n - парциальное давление насыщенного пара при температуре насытителя.

Можно сказать, что метод фазового равновесия является абсолютным методом получения известной точки росы.

На методе фазового равновесия основан образцовый генератор влажного газа «ПОЛЮС-1». Погрешность воспроизводимой генератором «ПОЛЮС-1» температуры точки росы определяется стабильностью, градиентами и точностью измерения температуры насытителя. Кроме того, существенное значение приобретает вопрос полноты насыщения (т.е. достижения фазового равновесия), что обеспечивается выбором конструкции сатуратора и режима его работы. Разновидность метода, реализуемую при низкой температуре (отрицательной по Цельсию) часто называют методом вымораживания. При его реализации необходимо предусматривать меры, препятствующие образованию и выносу из насытителя влаги в дисперсной фазе (т.е. «морозного тумана»).

Для обеспечения работы генератора требуется доукомплектовать его побудителем расхода газа (компрессор), средствами подготовки газа (увлажнитель, осушитель и т.п.), средствами измерения сопротивления платинового термометра (потенциометр высокой точности с образцовым резистором) и т.п.

Сложность конструкции, высокое энергопотребление генератора, а также использование жидкого азота в качестве охладителя сильно затрудняют работу с ним. Серийное производство таких генераторов не организовано и общее их количество в стране крайне мало (несколько штук).

3. Принцип смешения потоков (генераторы «Ендрюс-Хаузер» и «Панаметрикс»)

Генераторы основанные на этом методе применяются в ОАО «Газпром» («Тюменьтрансгаз», «Оренбурггазпром», «ВНИИГАЗ») в качестве передвижных.

Сущность метода заключается в смешении двух потоков – сухого и влажного газа. При этом влажный газ насыщается при известной температуре, а сухой газ используется для понижения влажности влажного газа за счёт нормированного смешения потоков. Регулирование влажности осуществляется с помощью изменения расходов сухого и влажного газа. Для расчета генерируемой точки росы используются специальные таблицы.

Положительной стороной этого типа генераторов является то, что их можно, хоть и с трудом, использовать в качестве переносного средства поверки (вес с дополнительным оборудованием, необходимым для работы, около 50 кг). Однако, генераторы «Ендрюс-Хаузер» и «Панаметрикс» имеют достаточно высокую погрешность $\pm(1...2)$ °С и требуют дополнительного оборудования (компрессор, баллоны с газом, фильтры, осушитель и т.д.), и, как все генераторы этого класса, имеют довольно продолжительное время выхода на режим (примерно 1,5...2 часов).

В табл. 1 приведены основные характеристики стационарных образцовых средств задания влажности газов.

Таблица 1.

Основные характеристики стационарных образцовых средств задания влажности газов.

Образцовое средство	Воспроизводимая величина	Пределы измерений	Предел допустимой погрешности измерения
Динамический генератор влажности «Родник-2»	Относительная влажность	5 – 99 %	Абс. $\pm 0,5\%$
	Объемная доля влаги	410 – 150000 млн ⁻¹	Отн. $\pm 1\%$
Динамический генератор влажности «Родник-3»	Относительная влажность	10 – 99 %	Абс. $\pm 1,5\%$
	Объемная доля влаги	0,3-2000 млн ⁻¹	Отн. $\pm 3\%$
Генератор «Полюс»	Точка росы	-60...+20 °С	Абс. $\pm 0,2$ °С

Таким образом, анализируя состояние дел со средствами поверки можно сделать вывод, что малое их количество (единичные экземпляры в России) и практически полное отсутствие переносных устройств сильно затрудняет проведение поверки на местах использования гигрометров. В связи с этим для облегчения поверки гигрометров серии КОНГ, научно-технической фирмой «Вымпел» было разработано уникальное, мобильное средство для проведения поверок – «Поверочный комплекс КОНГ», и было налажено его серийное производство. Простота обслуживания, небольшие размеры и вес, удобный интерфейс, полностью автоматизированный способ задания температуры точки росы, отсутствие расходных материалов – позволяют использовать его непосредственно на местах установки средств измерения для проведения оперативной поверки. В основу работы комплекса положен метод фазового равновесия над жидкой или твердой фазой при установившемся гигротермодинамическом равновесии. Метод фазового равновесия является абсолютным методом получения известной точки росы. Комплекс создан с учетом имеющихся плюсов и минусов данного метода (см. выше). В «Поверочном комплексе КОНГ» насытитель и рабочая камера объединены, что исключает влияние перепада давления. Небольшие размеры рабочей камеры (около 0,2 см³) обеспечивают наступление термодинамического равновесия (время выхода на режим) в кратчайшие сроки (~10 минут). У других генераторов это время колеблется от 2^х до 4^х часов.

Для большинства генераторов необходим принудительный проток газа через рабочую камеру, что связано с определенными трудностями, по обеспечению генераторов дополнительным оборудованием (компрессорами, баллонами с газом, осушителями, специальными фильтрами и т.д.). В поверочном комплексе «КОНГ» применен ряд оригинальных отечественных разработок, которые позволили проводить работы в стационарном режиме без принудительного расхода газа через рабочую камеру. Благодаря этому отсутствуют трудности связанные с динамическим режимом (который, кстати, так же можно использовать при работе с комплексом), а так же нет опасности выброса жидкости (тумана из насытителя), что присуще генераторам серии «Полюс». Основные технические характеристики разработанного комплекса приведены ниже.

Диапазон воспроизведения точки росы - от -50 до +30°C

Пределы допускаемой абсолютной погрешности при воспроизведении точки росы, не более - ±0,5°C

Время выхода на режим воспроизведения заданного значения точки росы, не более - 30 мин

Напряжение питания термогигростата - от 187 до 242В,

Потребляемая мощность термогигростата, не более	(50±2)Гц - 30 Вт
Габаритные размеры термогигростата, не более	- 120x200x250мм
Масса термогигростата, не более	- 3кг
Условия эксплуатации:	
Температура окружающего воздуха	- (20±5)°С
Относительная влажность воздуха	- до 80%
Атмосферное давление	- от 84 до 106,7 кПа (от 630 до 800 мм.рт.ст.)

Комплекс аттестован органами Госстандарта РФ и внесен в Государственный реестр средств измерений под №17286-98, Сертификат об утверждении типа средств измерений RU.C.31.004.A №5195.

Сравнение «Поверочного комплекса КОНГ» с переносными аналогами
Компактность «Поверочного комплекса КОНГ» позволяет использовать его как в качестве лабораторного (стационарного), так и в качестве переносного генератора точки росы. Низкая погрешность в совокупности с габаритно-массовыми характеристиками а также отсутствие расходных материалов (специально подготовленного воздух или азота, фильтров или компрессоров и т.д.) делает работу с комплексом простой и удобной. В таблице 2 приведены сравнительные технические характеристики поверочного комплекса «КОНГ» с переносным генератором «Панаметрикс».

Конструкция и функционирование «Поверочного комплекса КОНГ»

Поверочный комплекс «КОНГ» представляет собой генератор влагосостояния, основанный на принципе насыщения-вымораживания. Конструктивно комплекс (см. Рис. 1) состоит из термогигростата, согласующего электронного блока, **преобразователя температуры точки росы серии «КОНГ-Прима»** и управляющего компьютера IBM PC со специальным программным обеспечением. **Нехорошее описание в целом! Например, ниже появляется преобразователь конг Прима, но он – «неописанный идентификатор!»**

Основным элементом термогигростата является конденсационное зеркало (см. Рис. 7, поз.Е), температура которого регулируется при помощи охлаждающего модуля, построенного на базе трехкаскадного «элемента Плетье». **Рисунок 7 далеко ниже и не по тому поводу!**

Для того, чтобы конденсационное зеркало стало сатуратором (насытителем), перед установкой преобразователя «КОНГ-Прима» зеркало

охлаждается до температуры минус 20°С* (для конденсации паров воды из окружающего воздуха) и выдерживается в течении 5 минут (для образования устойчивой плёнки воды/льда).

Конструкция ЧЭ преобразователя «КОНГ-Прима» и зеркала комплекса такова, что при монтаже анализатора образуется замкнутый объем, и чувствительный элемент преобразователя «КОНГ-Прима» (см. Рис. 7, поз **D**) находится в 1,5мм от зеркала (сатуратора) комплекса (см. Рис. 7, поз.**E**). Т.о. образуется измерительная ячейка (см. Рис. 7, поз.**A**), влажосостояние в которой зависит от температуры зеркала (сатуратора) и от фазового состояния жидкости на зеркале комплекса. Следовательно, изменяя температуру зеркала, изменяем точку росы в измерительной ячейке.

Таблица 2.

Технические характеристики генератор МГ-101(производство фирмы «Панаметрикс») и поверочного комплекса «КОНГ»

Технические характеристики	Поверочный комплекс «КОНГ»	Калибратор МГ-101
Диапазон задания точки росы, °С	Минус 50 ...+30	Минус 60 ...+20
Погрешность задания точки росы, °С	±0,5	±1
Время выхода на режим, мин	10	120
Габаритные размеры, мм	120 х 200 х 250	1200 х 1250 х 680
Дополнительное (необходимое) оборудование	В комплект поставки входит Ноутбук, либо любой компьютер типа IBM PC с установленным ПО.	Источник газа (компрессор или баллон не входит в комплект поставки). Фильтр и осушитель входят в комплект поставки
Общая масса, кг	8	50 (без баллона и/или компрессора)



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ И МЕТРОЛОГИИ
(ГОССТАНДАРТ РОССИИ)

СЕРТИФИКАТ

об утверждении типа средств измерений

PATTERN APPROVAL CERTIFICATE OF MEASURING INSTRUMENTS

RU. C. 31. 008. A № 8475

Действителен до

01 августа 2005 г.

Настоящий сертификат удостоверяет, что на основании положительных результатов испытаний утвержден тип _____

поверочных комплексов "Конг"

наименование средства измерений

НПО "Вымпел", г. Саратов

наименование предприятия-изготовителя

который зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений под

№ 17268-00 и допущен к применению в Российской Федерации.

Описание типа средства измерений приведено в приложении к настоящему сертификату.

Заместитель Председателя
Госстандарта России



Ю. А. Гусаков

04 08 200 г.

Продлен до

" " 200 г.

Заместитель Председателя
Госстандарта России

" " 200 г.

80475

При измерении точки росы преобразователем «КОНГ-Прима» происходит конденсация паров воды на ЧЭ преобразователя. Количество воды, которое используется при проведении измерения, не может исказить пробу в измерительной ячейке комплекса. Это показывают как результаты

измерений точки росы по льду, так и простые оценочные расчеты. Наличие на зеркале комплекса жидкости толщиной ~ 1 мм обеспечивает чувствительный элемент преобразователя «КОНГ-Прима» при измерении необходимым количеством молекул воды, поскольку объемная доля влаги необходимая для проведения измерений составляет $6.75 \times 10^{-3} \%$ от всего количества влаги сконденсированной на зеркале (сатураторе) внутри измерительной ячейки (исходные данные на основании которых проводился расчёт: площадь зеркала комплекса 50 мм^2 , среднее значение толщины плёнки льда на зеркале 1 мм , площадь чувствительного элемента $0,25 \text{ мм}^2$ толщина пленки влаги необходимая для падения фотосигнала на $90\%^{**}$ от максимального уровня – 13.5 мкм). Очевидно, что столь низкое количество влаги необходимое для проведения измерений преобразователем «КОНГ-Прима4» не может, сколь ни будь существенно, повлиять на влажосостояние внутри измерительной ячейки.

Управление процессами задания и поддержания точки росы осуществляется через согласующий электронный блок при помощи компьютера со специализированным программным обеспечением.

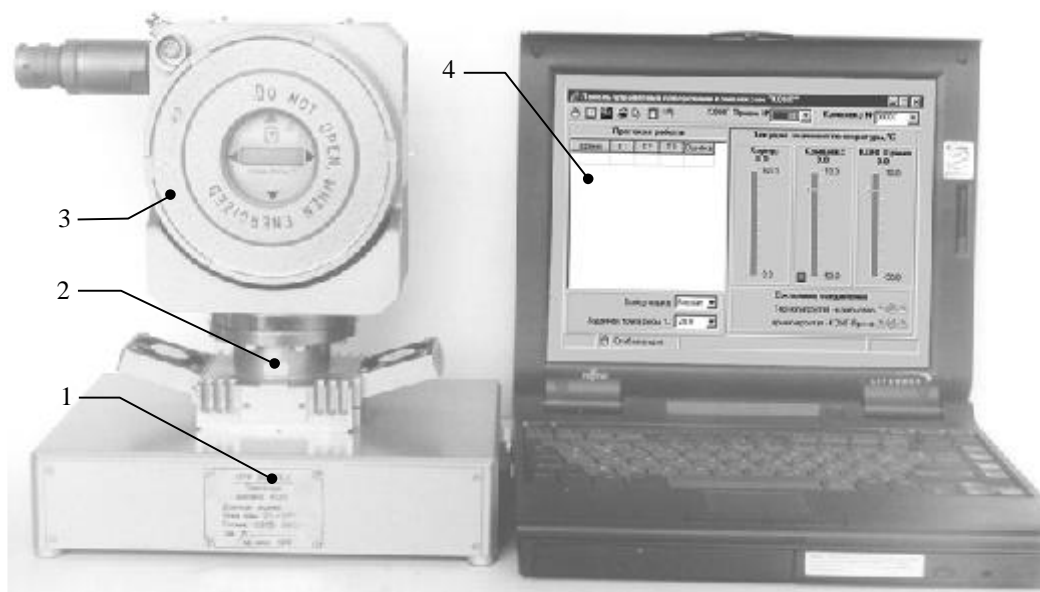


Рис. 1. Поверочный комплекс «КОНГ» совместно с преобразователем точки росы серии «КОНГ-Прима»

1 – согласующий электронный блок, 2 – термогигростат, 3 преобразователь точки росы серии "КОНГ-Прима", 4 – управляющий компьютер

Электронный блок термогигростата и компьютер со специальной программой обеспечивают:

- ◆ стабилизацию заданной температуры точки росы на поверхности конденсационного зеркала;
- ◆ автоматический режим работы комплекса при калибровке (поверке) с

отображением числовых значений контролируемых параметров;

◆ протоколирование работы.

Простота настройки, наглядность представления информации, а также предлагаемый на выбор пользователю ручной или автоматический режим калибровки измерителей серии «КОНГ-Прима» не требует привлечения высококвалифицированного персонала, и делают работу комплекса простой и удобной. Например, работа в автоматическом режиме вообще не требует привлечения обслуживающего персонала. Конструкция образцовой камеры и идеология воспроизведения величины влагосостояния позволяют работать с комплексом при давлении до 10 МПа.

Встроенный источник питания преобразует напряжение переменного тока 220В 50Гц в напряжение постоянного тока 24В, которое используется для питания согласующего электронного блока и поверяемого преобразователя «КОНГ-Прима».

Согласующий электронный блок комплекса, функциональная схема которого приведена ниже на Рис. 2, встроен в корпус поверочного комплекса и выполняет следующие функции:

- измерение сопротивлений терморезисторов корпуса образцовой камеры и конденсационного зеркала;
- измерение выходного токового сигнала 0–24 мА поверяемого преобразователя точки росы;
- питание термоэлектронных батарей (ТЭБ) комплекса стабилизированным током, величина которого задается внешним компьютером;
- передачу измеренных данных на внешний компьютер.

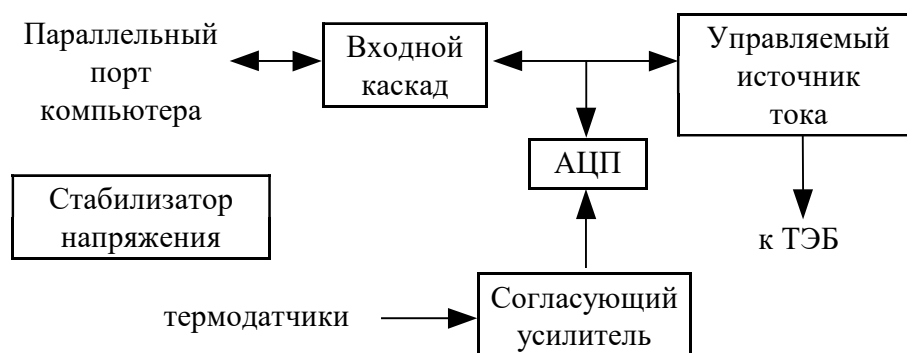


Рис. 2. Функциональная схема согласующего электронного блока

Остановимся более подробно на описании функций согласующего электронного блока.

Управляемый источник тока обеспечивает питание ТЭБ стабилизированным током, величина которого задается внешним компьютером. В его состав входят интегральный ЦАП, преобразователь “напряжение - ток”, и усилитель мощности на транзисторах. Внешний компьютер, управляя выходным напряжением ЦАП, может изменять величину тока, питающего ТЭБ, в пределах от минус 600 мА до +2,6 А.

Измерение сопротивлений терморезисторов и токового сигнала 0–24 мА обеспечивает АЦП. В его состав входят 12-разрядный 8-ми канальный

АЦП и интегральный источник опорного напряжения. Переключение каналов измерений и съем результатов измерений осуществляется внешним компьютером.

Согласующий усилитель преобразует сопротивление терморезисторов в напряжение, величина которого не превышает входной диапазон АЦП при изменении температуры от минус 50°C до +50°C. В его состав входят два генератора тока для питания терморезисторов и два усилителя напряжения.

Для управления комплексом разработано специальное программное обеспечение, которое выполняет следующие функции автоматического поддержания заданной точки росы, отображения на панели управления комплексом числовых значений контролируемых параметров, протоколирование работы как при калибровке влагомеров серии "КОНГ-Прима", так и при проведении каких-либо других, например исследовательских работ. Программа для управления комплексом имеет низкие системные требования, очень удобна при установке и использовании, работает практически под всеми разновидностями операционной системы "Windows". Достаточно запустить программу установки, и она автоматически выполнит все действия, связанные с установкой программного обеспечения на компьютер типа "Notebook", входящий в комплект поставки, или на любой другой компьютер.

После запуска программы на экране управляющего компьютера появится панель управления поверочным комплексом "КОНГ". Внешний вид панели управления поверочным комплексом "КОНГ" приведен ниже, на рис. 3.

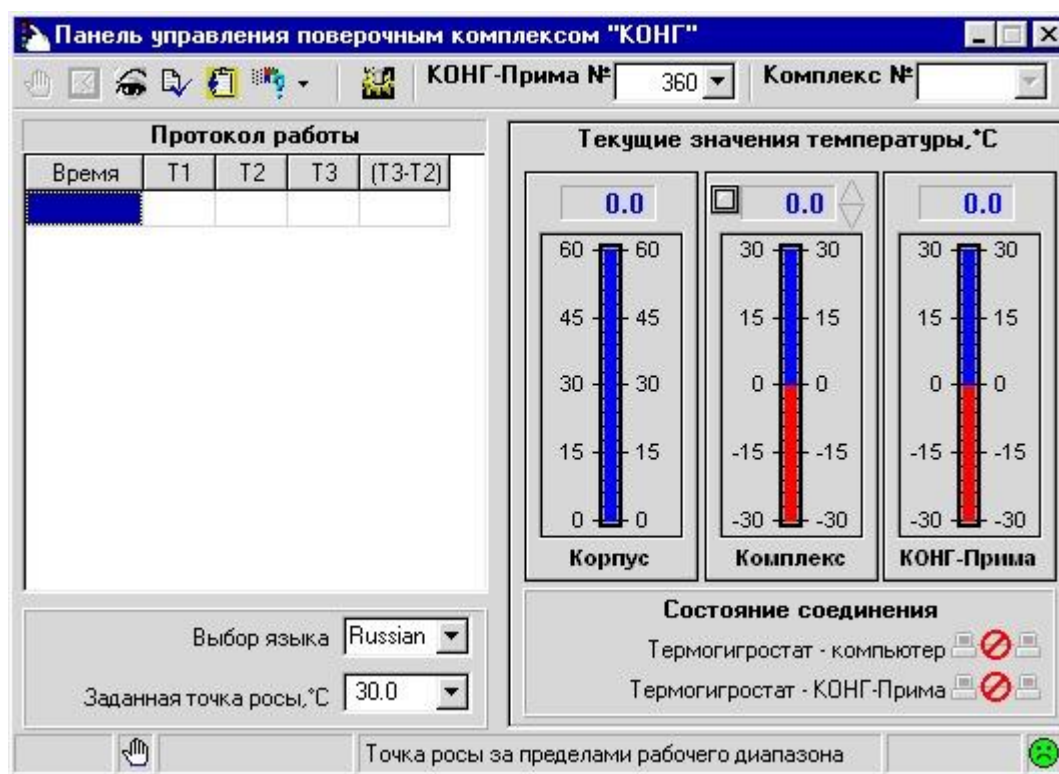


Рис. 3. Панель управления «Поверочным комплексом КОНГ»

Программа управления комплексом обеспечивает ручной и автоматический режимы работы как с приборами "КОНГ-Прима", так и при проведении каких-либо исследований с использованием комплекса. На рисунке 3 в окне "Протокол работы" существуют графы, на которых стоит остановиться более подробно. В графе «Время» фиксируется время записи строки протокола, в графе «Т1» указывается температура корпуса комплекса "КОНГ", в графе «Т2» - заданная на данный момент времени точка росы, в графе «Т3» - точка росы, измеренная прибором «КОНГ-Прима». Показания снимаются с токового выхода прибора «КОНГ-Прима».

– В графе «Т3-Т2» - значение отклонения величины точки росы, измеренной подключенным преобразователем «КОНГ-Прима», от величины, воспроизводимой комплексом. Все вышеописанное представлено на рис. 4.

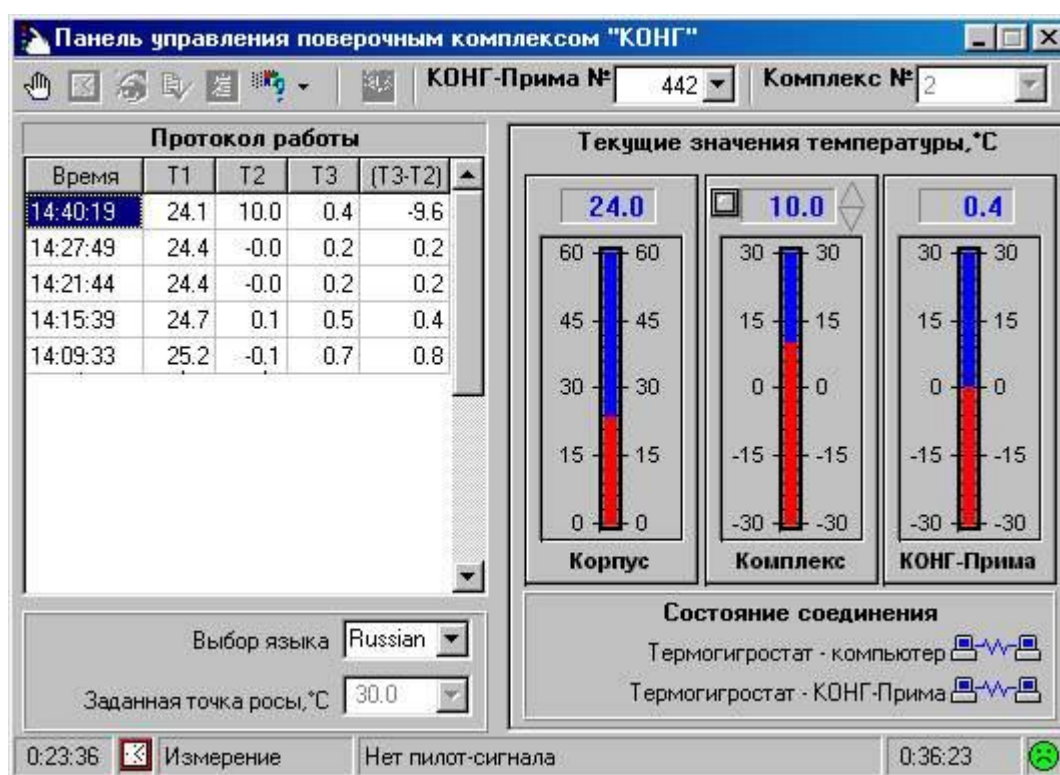


Рис. 4. Вид заполненного окна "Протокол работы"

Автоматический режим работы очень удобен тем, что позволяет запрограммировать комплекс на долгий режим работы, в течении которого программа управления будет автоматически выполнять действия, заданные оператором комплекса, через указанный им же промежуток времени, ведя при этом протокол работы.

При работе в автоматическом режиме у пользователя есть возможность создать файл истории работы комплекса, который сохраняется на жестком диске компьютера и содержит копию данных панели «Протокол работы» в табличном и графическом виде, от начала автоматического режима до его завершения. (см. рис.5.)

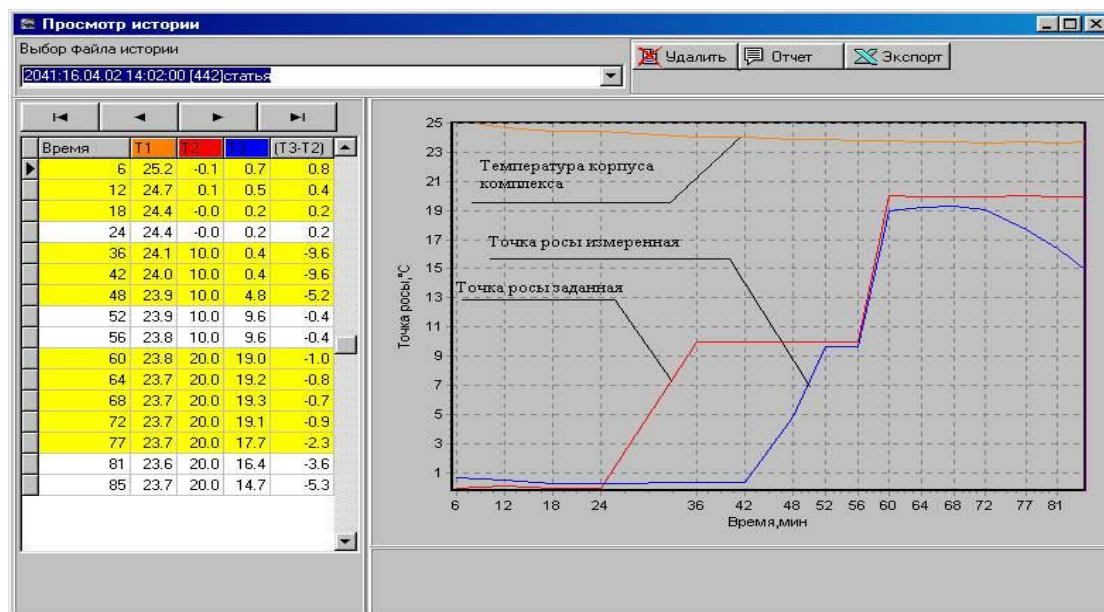


Рис. 5. Внешний вид панели файла истории

По графику можно увидеть, что измеренная точка росы отличалась от заданной (красная и синяя линии) в диапазоне $+20^{\circ}\text{C}$.

Заголовок файла истории по умолчанию состоит из даты и времени запуска автоматического режима, а также номера проверяемого прибора. Пользователю остается только дополнить заголовок своими комментариями в поле, чтобы облегчить впоследствии поиск интересующего файла. При желании можно сформировать отчет для вывода на печать, в котором указаны сведения о приборе и поверочном комплексе, результаты поверки и график погрешности (см. рис. 6).

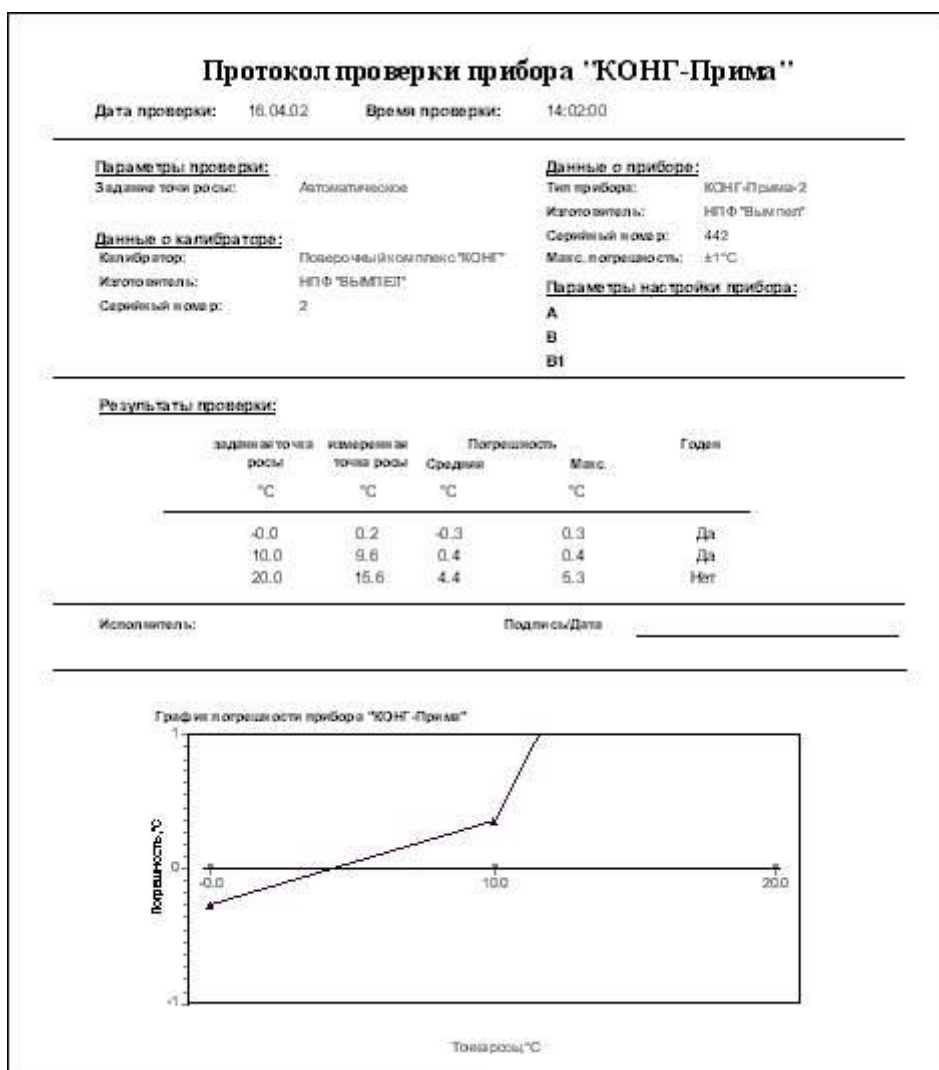


Рис. 6. Отчет, формируемый программой хранения данных

Из данного отчета видно, что анализатор не прошел поверку, и его погрешность вышла за допустимые пределы.

В автоматическом режиме на панели управления комплексом отображается суммарное время работы в автоматическом режиме и оставшееся время выдержки текущей точки росы. По окончании времени, которое пользователь определил для работы в автоматическом режиме, комплекс сам переходит в ручной режим работы.

Если в течение какого-то времени надобность работы в автоматическом режиме отпала, или требуется вмешательство в работу комплекса, пользователь может остановить автоматический режим и продолжить работу по своему усмотрению.

Программным обеспечением предусмотрена возможность экспорта данных из файла истории в программу обработки электронных таблиц «Microsoft Excel». При экспорте программа автоматически запускает программу "Microsoft Excel", если она установлена на компьютере, и дальнейшая обработка данных производится уже средствами этой программы. На Рис.6 представлен пример отчета с графиком

погрешности.

Для поверки комплекса не нужно иметь каких-то специальных средств. Вполне достаточно термокамеры, образцового термометра, вольтметра и магазина сопротивлений, встречающихся практически на любых производствах.

Дополнительные возможности «Поверочного комплекса КОНГ»

В виду своих функциональных особенностей использование «Поверочного комплекса КОНГ» не исчерпываются проверкой метрологических характеристик преобразователей семейства "КОНГ-Прима". Отсутствие расходных материалов и возможность с легкостью задавать температуру точки росы в широком диапазоне, позволило использовать поверочный комплекс "КОНГ" в научно-исследовательской работе. В исследовательской лаборатории НПФ "Вымпел" был поставлен ряд экспериментов, для проведения которых использовался вышеуказанный комплекс совместно с анализатором точки росы "КОНГ-Прима-4". Эксперименты охватывали ряд проблем, среди которых были затронуты такие важные вопросы как:

- влияние присутствия солей на температуру точки росы (на зеркало поверочного комплекса наносилась пленка солевого раствора);
- измерение точки росы по гидратам и отличие ее от точки росы по воде (в камеру поверочного комплекса закачивался природный газ под давлением, в этом случае на зеркале моделируется точка росы по гидратам);
- Влияние на точку росы присутствия спирта (на зеркало поверочного комплекса наносилась пленка спирта);
- Измерение температуры точки росы по воде и по углеводородам (камера термогигростата продувалась воздухом с точкой росы -20°C , после чего в нее заносился углеводород, например конденсат, перекрывались входные вентили, и комплексом моделировалась точка росы по углеводородам).
- Измерение точек росы по льду и по воде и их отличия друг от друга в диапазоне $-20^{\circ}\text{C} \dots -40^{\circ}\text{C}$.

Полученные результаты частично опубликованы (см. []) и будут детально рассмотрены в последующих публикациях.

Ниже приведена экспериментальная схема исследовательской установки на базе поверочного комплекса "КОНГ" и анализатора точки росы по влаге и углеводородам "КОНГ-Прима-4" (см. Рис. 7.). В данный момент установка успешно используется НПФ "Вымпел" для дальнейшего изучения проблем, так или иначе возникающих при измерении точки росы и контроле качества подготовки газа.

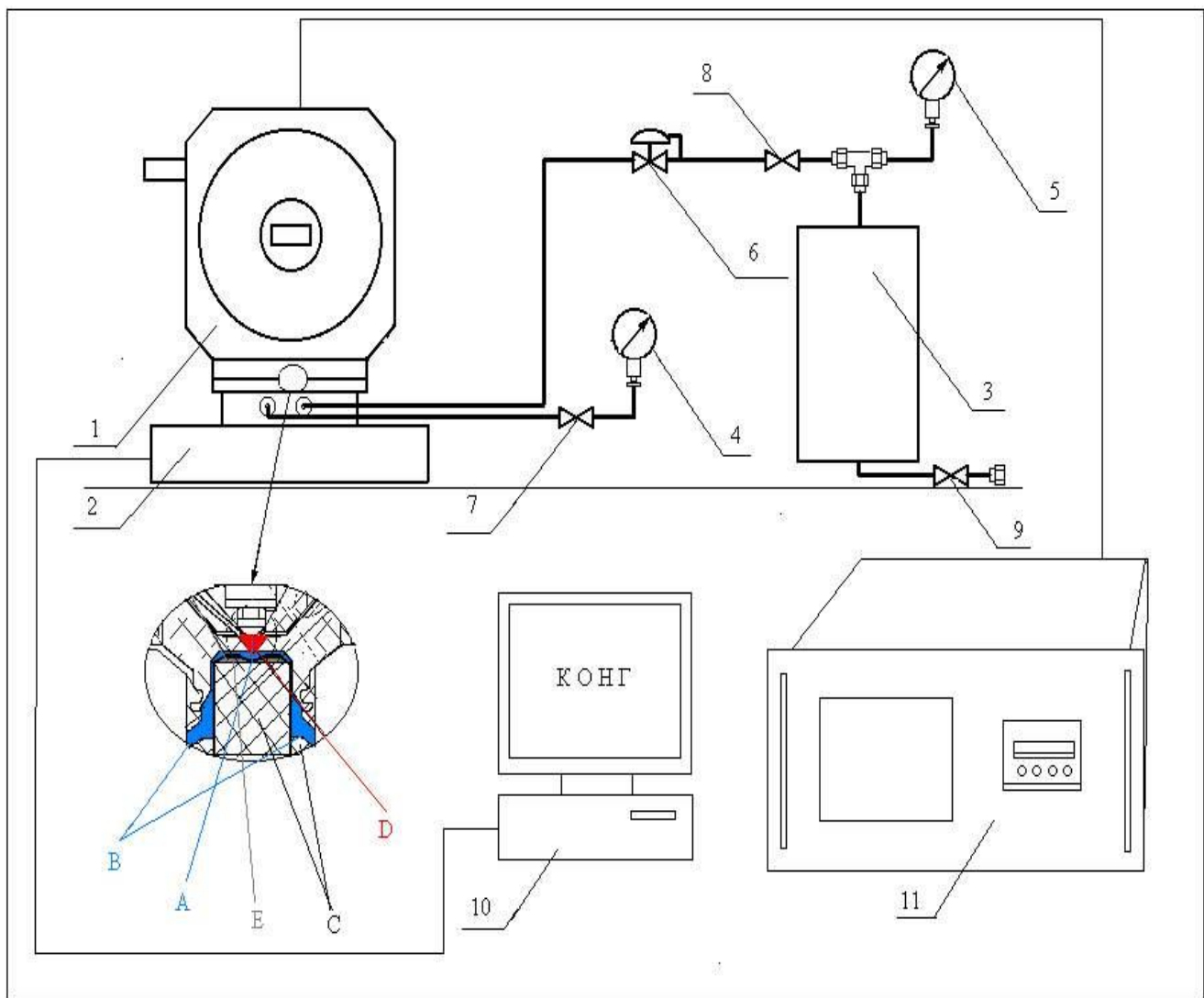


Рис.7. Схема установки для исследования гидратообразования

1. Анализатор точки росы по влаге и углеводородам "КОНГ-Прима-4";
2. Поверочный комплекс "Конг";
3. Баллон с воздухом (газом);
4. Манометр контроля давления в поверочном комплексе "КОНГ";
5. Манометр контроля давления в баллоне 3;
6. Редуктор;
7. Продувочный вентиль;
8. Вентиль подачи воздуха (газа);
9. Заправочный вентиль;

А – измерительная камера, **В** – вход и выход исследуемого газа, **С** – фторопластовый колпак и цилиндр, **Д** – чувствительный элемент преобразователя точки росы "КОНГ-Прима", **Е** – зеркало поверочного комплекса "Конг".

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, научно-производственной фирмой "Вымпел" разработан переносной «Поверочный комплекс КОНГ», который является техническим средством широкого спектра применения. Комплекс имеет определенные достоинства по сравнению с имеющимися аналогами: малые

габариты, возможность работы в полевых условиях, простота и удобство в обращении. Следует также отметить, что «Поверочный комплекс КОНГ» не требует каких-либо расходных материалов, т.е. является полностью автономным. В настоящее время комплекс серийно выпускается. Выпущено около 50 штук, основными потребителями являются организации, широко применяющие преобразователи температуры точки росы серии «КОНГ-Прима» (более 10 преобразователей). Генераторы нашли применение не только в нашей стране, но также пользуются спросом в странах Западной Европы. Выше была указана возможность использования комплекса не только в целях поверки средств измерения точек росы газа приборами КОНГ Прима 2 и 4, но и в научно-исследовательских целях. Всё это делает комплекс надежным и удобным инструментом для многих организаций, занимающихся научно – исследовательской работой и так или иначе связанных с проблемами контроля качества газа.

2. Рабочий эталон нулевого разряда «КОНГ-Эталон».

На следующем этапе разработки метрологического обеспечения для средств измерения качества газа серии «КОНГ-Прима» возникла потребность в создании эталонного средства, позволяющего оценить достоверность измерения точки росы по влаге и углеводородам природного газа при рабочих давлениях измеряемой среды до 10 МПа.

В результате был создан единственный в России рабочий эталон нулевого разряда единицы температуры точки росы при давлении до 10 МПа «КОНГ-Эталон», который воспроизводит единицу точки росы по влаге с точностью $\pm 0,12^{\circ}\text{C}$ и точки росы по углеводородам с точностью $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ при давлениях до 10 МПа и может работать с природным газом.

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 оценить влияние на рассматриваемые параметры технологических примесей, содержащихся в газе.

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» (установка высшей точности УВТ1-100, разработанный и изготовленный во ВС НИИФТРИ (Восточно-Сибирский НИИ физико-технических и радиотехнических измерений) г. Иркутск. 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 по показателям качества товарного газа речь идет о температурах точки росы по крайней мере до минус 20 °С. В представленной в 2003 году ВНИИГазом обновленной версии отраслевого стандарта предполагаются измерения точек росы газа по термодинамически наиболее стабильной водной фазы (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» (см. обсуждение в [1]), построенных по принципу двух давлений, но только при атмосферном давлении. 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 достигнуть метрологическую точность воспроизведения точки росы на уровне 0,1 - 0,25 °С). Кроме того, чисто конструктивно использование поверочного комплекса «КОНГ» ограничено Анализаторами серии «КОНГ - Прима» и принципиально не пригодно для тестирования других типов приборов.

В связи с этим специалистами НПФ «Вымпел» разработан рабочий эталон 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 изучить влияние различных технологических примесей в природных газах на показатели качества товарного газа.

Устройство и принцип работы рабочего эталона

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

Эталон предназначен:

- для получения парогазовой смеси с известными значениями точки росы по воде и углеводородам с целью тестирования и поверки влагомеров различных типов (различных физических принципов действия);
- для проведения исследовательских работ по определению влияния примесей в газе (алифатических спиртов, гликолей и пр.) гигрометрами с самыми различными принципами измерения;
- проведения работ, связанных с отработкой новых методик измерения температуры точки росы по воде, углеводородам, льду, гидратам.



Рис. 1. Внешний вид экспериментального стенда.

Рабочая газовая смесь в эталоне 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 давлений 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 1, 2 и 3 (рис. 2).

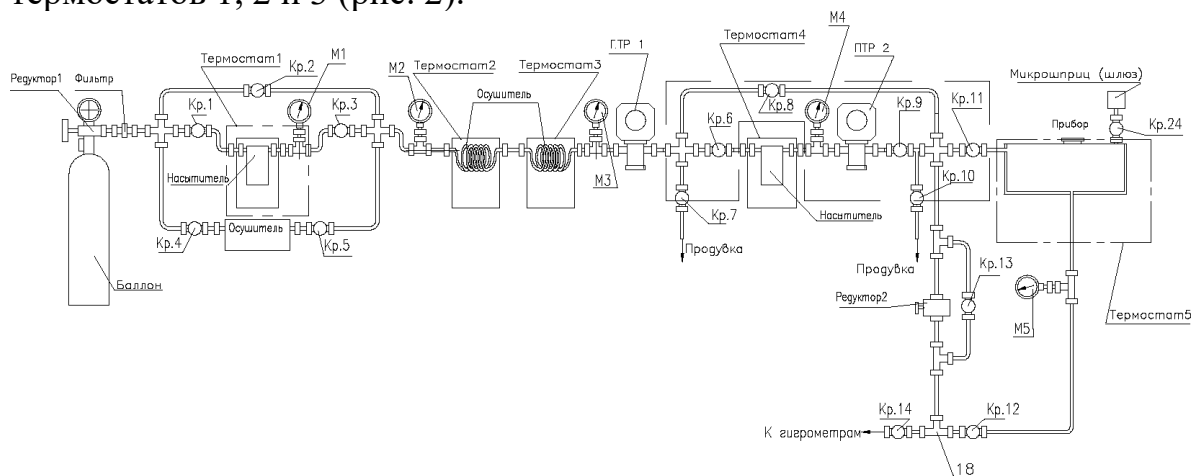


Рис. 2. Пневмомеханическая схема стенда

В термостате 1 помещен сатуратор (насытитель), во втором и третьем 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°C, 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 (см. рис. 3).



Рис. 3. Внешний вид сатуратора

Газ сначала поступает в змеевик, где приобретает температуру, установленную в термостате. Из змеевика газ поступает непосредственно в сосуда, 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°C, 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 (термостата 3) используется жидкостный охлаждающий циркулятор F33-MV фирмы Julabo (Германия), представленный на рис. 4 и имеющий следующие основные характеристики:

Диапазон рабочих температур, °C	-33...200
Стабильность температуры, °C	±0,01
Размеры бани (термостатируемой камеры), мм	230×140×200
Используемая жидкость	этанол
Внешние габариты (Ш×Д×В), мм	360×460×680
Вес, кг	38



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

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

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, равной 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 последующем насыщении ей исследуемого газа температура насыщения углеводородами должна быть выше задаваемой температуры точки росы по воде не менее чем на 5°C.

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 ёмкость помещена в термостат 5 (см. рис. 2) для поддержания стабильной температуры буферной емкости.

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 эталоне создается полная имитация работы приборов-гигрометров при расходе газа через рабочую зону прибора под рабочим давлением.

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

Результаты испытаний стенда

Испытания стенда проводились в два этапа.

На первом этапе совместно с представителями ВНИФТРИ г. Иркутск во главе с руководителем отдела физико-технических измерений, ученым хранителем Государственного эталона единиц влажности газа Н.И. Дубовиком 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 нулевого разряда единицы температуры точки росы и температуры конденсации углеводородов и имеет следующие основные метрологические и эксплуатационные характеристики:

Диапазон воспроизведения температуры точки росы	по влаге	минус 30...плюс 30 °С
	по углеводородам	минус 30...плюс 30 °С
Диапазон воспроизведения концентраций по метанолу	при давлении 0,1 МПа	от 0 до 25000 мг/м ³
	при давлении 4,0 МПа	от 0 до 600 мг/м ³
Пределы основной абсолютной погрешности при воспроизведении точки росы по влаге	В нормальных условиях и при давлении до 10 МПа	±0,12°С
Пределы основной абсолютной погрешности при воспроизведении точки росы по углеводородам	В нормальных условиях и при давлении до 10 МПа	±0,5°С
Погрешность поддержания температуры в термостатах последней ступени		±0,02°С
Время выхода установки на режим	при давлении 0,1 МПа	не более 1 часа
	при давлении 10 МПа	не более 2 часов
Газ- носитель	Чистый воздух, азот, природный газ	
Расход газа – носителя	Не должен превышать 5±0,5 дм ³ /мин	
Монтаж	В помещении	

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 стенда с использованием в качестве газа-носителя природного газа компонентный состав которого приведен в таблице 1.

Компонентный состав газа-носителя			Таблица 1.
метан	97,815	Изопентан	0,01
этан	0,873	н-пентан	0,01
пропан	0,273	диоксид углерода	0,08
изобутан	0,044	азот	0,846
н-бутан	0,048	кислород	0,001

В качестве контрольного прибора использовался образцовый переносной анализатор точки росы «КОНГ-Прима-4П», аттестованный с погрешностью $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$. Аттестация этого Анализатора была проведена в ВС НИИФТРИ г. Иркутск в период с 21. 02.03 г по 01.02.03 г. Результаты испытаний стенда приведены в таблицах 2 и 3.

Результаты испытаний стенда при задании температуры точки росы по воде Таблица 2

Стенд	«КОНГ-Прима-4П (образцовый)»			Максимальное отклонение, $^{\circ}\text{C}$ (заданной на стенде точки росы от измеренной КОНГОМ)
	Измеренная (средняя по пяти измерениям) точка росы по воде, $^{\circ}\text{C}$			
	При 0,1 МПа	При $P_{\text{газа}}= 3 \text{ МПа}$	При $P_{\text{газа}}= 6 \text{ МПа}$	
-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 2

Результаты испытаний стенда при задании температуры точки росы по углеводородам (заданная точка росы по влаге минус 30°C)

Заданная точка росы по углеводородам, $^{\circ}\text{C}$	«КОНГ-Прима-4П» (образцовый)			Максимальное отклонение, $^{\circ}\text{C}$ (заданной на стенде точки росы от измеренной)
	Измеренная точка росы по углеводородам, $^{\circ}\text{C}$			
	При 0,1 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	$\pm 0,5$

Таблица 3

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Научно-производственной фирмой «Вымпел» г. Саратов разработан стенд, позволяющий воспроизводить значения точки росы по воде и углеводородам 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.).
2. 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 $\pm 0,15^{\circ}\text{C}$ по влаге и $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ по углеводородам. Диапазон воспроизведения точки росы $30^{\circ}\text{C}...+30^{\circ}\text{C}$. При проведении испытаний в качестве газа-носителя использовался чистый воздух.
3. Стенд обеспечивает воспроизведение точек росы по воде в диапазоне минус $30^{\circ}\text{C}...+30^{\circ}\text{C}$ как при нормальных условиях, так и под давлением до 10 МПа с погрешностью не более чем $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ при использовании в качестве газа-носителя природного газа.
4. Стенд обеспечивает воспроизведение точки росы по углеводородам в диапазоне минус $30^{\circ}\text{C}...+30^{\circ}\text{C}$ под давлением до 10 МПа с погрешностью $+0,8^{\circ}\text{C}$ при атмосферном давлении и $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ под давлением при использовании в качестве газа-носителя природного газа.
5. 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»).

Тема 8. Направления технологического использования приборов серии «КОНГ-Прима».

Выше была показана технологическая применимость и адекватность работы Анализатора в различных условиях главным образом для контроля показателей качества газа. Анализ реакции прибора показал, что Анализатор может быть использован в качестве датчика точки росы для автоматизации различных технологических процессов обработки и подготовки газа, а также решения других задач в нефтегазовой отрасли

Рассмотрим конкретные и весьма перспективные возможности применения Анализатора в технологических процессах.

4.1. Автоматическое управление адсорбционным процессом осушки газа

Для адсорбционной осушки газа используется два и более адсорберов. Автоматическое управление адсорбционным процессом осушки газа осуществляется по принципу регулирования влажности осушенного газа. Используемая в настоящее время технология переключения работы адсорберов на различные циклы (осушка или регенерация) по времени наработки недостаточно эффективна по нескольким причинам:

- время работы адсорбера в режиме осушки зависит от ряда факторов и может быть различным в зависимости от влажности входящего газа, расхода газа через адсорбер, степени регенерации адсорбера и др. Следовательно, адсорбер может быть в этом режиме «недогружен» по причине гарантированного обеспечения качества газа по точке росы на выходе;
- соответственно режим регенерации адсорбера также может быть различным по времени, а т.к. как регенерация связана с существенными затратами энергетических ресурсов этот процесс может приводить к их нерациональному использованию;
- не изучен в достаточной мере вопрос определения максимального расхода газа через адсорбер, при котором обеспечивается требуемое качество газа на его выходе.

Применение в системе адсорбционной осушки для контроля влажности газа автоматического Анализатора «КОНГ-Прима-4» позволит более эффективно и рационально использовать возможности адсорберов, как в режиме осушки так и в режиме регенерации, а также оптимизировать основные параметры ее работы (расход, давление, температура газа).

4.2. Автоматическое управление абсорбционным процессом осушки газа

Системы автоматического управления процессом абсорбционной осушки газа строятся по различным схемам. В основном применяют принцип регулирования [43] - соотношения «расход газа - расход абсорбента» с коррекцией по отклонению влажности газа от заданного значения. Основным элементом системы регулирования служит датчик точки росы.

Регулирование соотношения «расход газа – расход абсорбента» сводится к поддержанию максимального расхода регенерированного диэтиленгликоля, постоянной его концентрации и постоянной температуры контакта фаз. Максимальным расходом называют такой расход абсорбента, который при максимальном расходе газа обеспечивает заданную степень осушки газа.

Система управления в этом случае представлена на рисунке 4.1.

Автоматическая стабилизация температуры контакта обеспечивается системами автоматического регулирования температуры газа 1, 2 и раствора абсорбента. Согласование потоков жидкости, поступающей и уходящей с адсорбера, осуществляется автоматической системой регулятора уровня 5.

Автоматическое регулирование расхода газа в заданных пределах определяется регулятором расхода 4. На выходе абсорбера установлен датчик влажности, по показаниям которого регулируется расход ДЭГа.

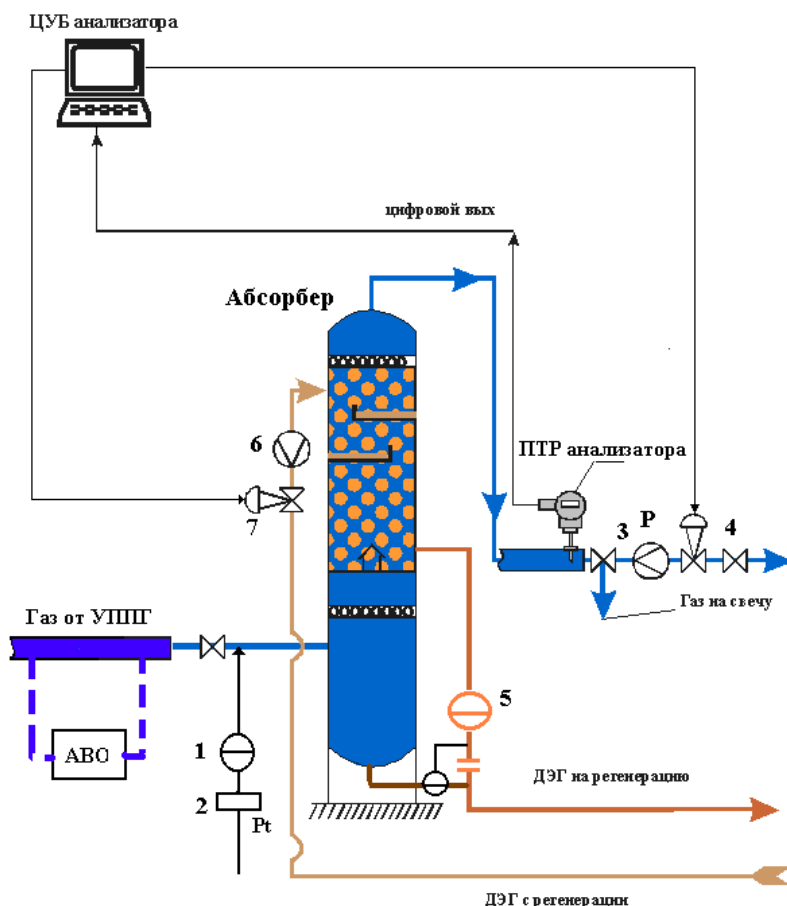


Рис1. - Схема автоматического управления процессом абсорбции на базе Анализатора «КОНГ-Прима-4».

1, 2 – датчик и регулятор температуры газа; 3,4 – датчик и регулятор расхода; 5 – регулятор уровня жидкости; 6, 7 – датчик и регулятор раствора ДЭГа.

Использование в этой схеме в качестве датчика влажности автоматического Анализатора «КОНГ-Прима-4» позволяет автоматизировать процесс подачи необходимого количества ДЭГа в абсорбер в зависимости от измеренного значения точки росы и сохранения, таким образом, необходимого соотношения «расход газа – расход ДЭГа». Кроме этого, использование Анализатора на выходе каждого абсорбера позволит определить для него наиболее оптимальный расход газа и дает возможность перераспределять расход между абсорберами для повышения эффективности работы многониточной установки осушки в целом.

Из вышеприведенного анализа следует, что основной задачей системы автоматического регулирования на установках абсорбционной осушки газа, решаемой с помощью Анализатора, является оптимизация работы осушки за счёт перераспределения газовых потоков между абсорберами с учётом оптимального соотношения «расход газа – расход ДЭГа» для каждого абсорбера. На СПХГ, оборудованных системой автоматического воздушного охлаждения газа (АВО), к оптимизации параметра «расход газа – расход ДЭГа» добавляется оптимизация ещё одного технологического параметра работы осушки – температуры контакта.

4.3. Система контроля количества метанола в газе

С помощью Анализатора можно получить полную кривую конденсации природного газа по водной фазе (по водометанольному раствору) как функцию давления, что в принципиальном отношении даёт возможность оценивать содержание метанола в исследуемом газе. Это связано с тем, что температуры точки конденсации водометанольного раствора при различном содержании метанола в природном газе, совпадающие при одном давлении, при других давлениях уже отличаются (см. таблицу 4.1, в которой для газов с разным содержанием паров метанола при фиксированном давлении 8 МПа, задана одна и та же точка росы газа по водометанольному раствору минус 10 °С).

Однако термодинамика рассматриваемого процесса (т.е. зависимость ТТР по ВМР от давления) такова, что по зависимости температуры точек росы газа по ВМР от давления (сравнивая эту кривую с эталонной, полученной в отсутствие паров метанола в газе) мы можем практически оценить наличие метанола в газе только при его содержании не менее 300 - 400 г/1000 м³. В тоже время, как показали методические лабораторные эксперименты, наличие паров спирта в газе весьма существенно влияет на динамику (кинетику) процесса конденсации водоспиртового раствора при заданной (фиксированной) скорости охлаждения конденсационного зеркала прибора. В указанных лабораторных экспериментах в качестве алифатического спирта использовался этанол, тогда как имеющиеся теоретические соображения показывают, что наличие в газе метанола еще более отчетливо влияет на кинетику конденсации водной фазы на чувствительном элементе конденсационного прибора.

Таким образом, сочетание термодинамического и кинетического аспектов конденсации ВМР в принципиальном отношении дает возможность с помощью Анализатора определять содержание паров метанола в газе практически на количественном (или по крайней мере на полуколичественном) уровне.

Таблица 4.1

Расчетная зависимость точек росы природного газа по водо-метанольному раствору (ТТР по ВМР) от давления при различной концентрации метанола в природном газе (зафиксирована точка росы газа при давлении 8,0 МПа, равная минус 10 °С).

Давление, МПа	Точка росы газа в отсутствие метанола, °С	Точка росы газа по ВМР, °С, при содержании метанола, г/1000 м ³					
		100	200	300	500	750	1000
8,0	-10,00	-10,00	-10,00	-10,00	-10,00	-10,00	-10,00
6,0	-12,25	-12,15	-12,00	-11,8	-11,4	-11,0	-10,2
4,0	-15,70	-15,45	-15,10	-14,8	-14,1	-13,4	-12,3
3,0	-18,25	-17,95	-17,60	-17,3	-16,4	-15,6	-14,5
2,0	-22,05	-21,68	-21,3	-20,9	-20,1	-19,3	-18,2
1,0	-28,70	-28,30	-27,9	-27,50	-26,8	-26,1	-25,4

Примечание. Расчет проведен по программному комплексу ВНИИГаза

Как показывают тестовые эксперименты, а также выполненные нами теоретические проработки, сравнение зависимостей точек конденсации ВМР от давления (термодинамика), а также определение скорости конденсации (кинетика) позволяет определить содержание метанола, растворенного в природном газе, с погрешностью не хуже $\pm(30-50)$ г/1000 м³, т.е. практически на уровне погрешности хроматографического определения метанола в газе [44].

Методические работы, связанные с алгоритмами одновременного определения точки росы газа по ВМР и содержания в природном газе метанола должны быть продолжены с целью разработки метрологически атестованной методики определения метанола в газе с использованием Анализатора «КОНГ–Прима-4».

4.4. Система контроля уноса углеводородного конденсата в аэрозольном виде

Рассмотрим потенциальные возможности применения Анализатора для оценки (контроля) количества капельного (аэрозольного) углеводородного конденсата, уносимого с концевой ступени сепарации газа на установках низкотемпературной сепарации.

Знание термобарических параметров работы установки НТС и измерение зависимости температуры точки росы газа по углеводородам от давления на узле замера газа принципиально даёт возможность количественно оценить величину уноса углеводородного конденсата в капельном (жидком) виде с последней ступени сепарации (на узле замера газа углеводородный конденсат практически всегда весь находится в паровой фазе, т.е. аэрозольный углеводородный конденсат, унесенный с последней ступени сепарации, испаряется далее в рекуперативных теплообменниках).

Эта оценка может проводиться следующим образом. Обычно, по результатам химических анализов газа и углеводородного конденсата а также количественных данных по добыче нестабильного конденсата на установке НТС строится термодинамическая балансная модель установки (с

использованием известных термодинамических моделирующих программ – Гиббс, ГазКондНефть, модель Комфорт, ПРО-2 и др.). При построении такой модели сравниваются показания Анализатора, установленного на потоке газа после конечного сепаратора, и кривой точки росы газа по углеводородам от давления по показаниям Анализатора после прохода осушенного газа через рекуперативные теплообменники. Совместное использование адаптивной термодинамической модели установки НТС и данных, получаемых Анализатором на установке НТС, принципиально дает возможность определить расчетным путем: технологические потери углеводородного конденсата из конечного низкотемпературного сепаратора, а также степень термодинамической неравновесности процесса НТС. При превышении технологически допустимой величины аэрозольного уноса углеводородного конденсата низкотемпературные сепараторы могут «ставиться» на ревизию, а также решается вопрос о необходимости и целесообразности модернизации сепарационной секции низкотемпературного сепаратора.

4.5. Комплексная методика определения компонентного состава газа с использованием Анализатора точек росы газа и поточного хроматографа

В настоящее время на газодобывающих и транспортных предприятиях ОАО "Газпром" определение температуры точки росы газа по углеводородам природного газа осуществляется в соответствии с требованиями ГОСТ 20061, согласно которым указанный параметр качества газа определяется при рабочем давлении газа в газопроводе. Такой контроль осуществляется с применением различных средств измерения и, в частности, с применением Анализатора "КОНГ-Прима-4".

Однако при поставках газа в западноевропейские страны возникает необходимость определять температуру точки росы газа по углеводородам при различных давлениях и в том числе при давлениях существенно более низких, чем давление газа в магистральных газопроводах. Применение средств измерений для решения такого рода задачи предполагает дополнительные затраты на специальное оборудование точки отбора пробы газа для дальнейшего определения ТТР газа. Это связано с тем, что при редуцировании (понижении его давления) газа в соответствии с эффектом Джоуля-Томсона температура газа понижается и, следовательно, может происходить частичная конденсация пробы газа, предназначенной для анализа ТТР. Таким образом, если пробу газа не подогревать (что предполагает наличие дополнительного специального оборудования), то определение ТТР будет осуществляться для газа, концентрации компонентов которого в общем случае не будут соответствовать концентрациям компонентов газа в газопроводе.

В тоже время термодинамические расчетные методы определения температуры точки росы газа по углеводородам с использованием данных

поточного хроматографа и основанные на использовании уравнений состояния многокомпонентных смесей (типа кубических уравнений состояния Соаве-Редлиха-Квонга, Пенга-Робинсона и др.) имеют существенный недостаток, а именно – значительная зависимость расчетных значений $T_{тр}$ от концентраций компонентов углеводородного остатка, измерение которых весьма затруднительно, да и не понятно каким числом компонентов углеводородного остатка можно ограничиться без потери точности определения температуры точки росы.

Совместное использование Анализатора точек росы газа и хроматографа позволяет дать теоретически и практически корректное решение поставленной задачи. Суть разработанного при нашем участии комплексного метода заключается в следующем [42]:

Проводятся измерения состава газа, т.е. концентраций компонентов до гексана включительно (в идеале – с использованием поточного хроматографа, но возможно использование и использование периодического отбора газа и определение состава на лабораторном хроматографе), а также температуры точки росы газа при рабочем давлении газа в трубопроводе с помощью Анализатора.

Передача измеренных данных на компьютер, что современные узлы учета расхода газа могут выполнять автоматически.

Расчет на базе переданных данных кривой конденсации газа при давлениях отличных от давления газа в трубопроводе.

Методика на третьем этапе состоит в следующем. Предварительно рассчитываются концентрации компонентов "эквивалентной смеси", а именно концентрация C_{6+} распределяется на концентрацию гексана плюс любого подходящего компонента из следующих: гептан, октан, нонан, декан. Определение подходящего компонента и распределение концентрации гексана выполняет программа расчета, уравнивая расчетное значение $T_{тр}$ и измеренное ("опорное") значение $T_{тр}$ при давлении газа в трубопроводе. Таким образом, фракция C_{6+} (гексан+высшие) заменяется на "эквивалентную бинарную смесь" с концентрациями компонентов, сумма которых (концентраций) равна концентрации гексана+высшие. Этот термодинамический прием и дает возможность проводить последующий, уже достаточно корректный расчет, кривой точки росы газа по углеводородам от давления с использованием подходящего уравнения состояния (в нашем случае использовано кубическое уравнение состояния Пателя-Тейя, с параметрами бинарного взаимодействия, аттестованными Госстандартом России). Метод был обоснован технологическими расчетами и прямым сопоставлением расчетных кривых конденсации углеводородов и фактически измеренных Анализатором (с использованием переносной модели Анализатора).