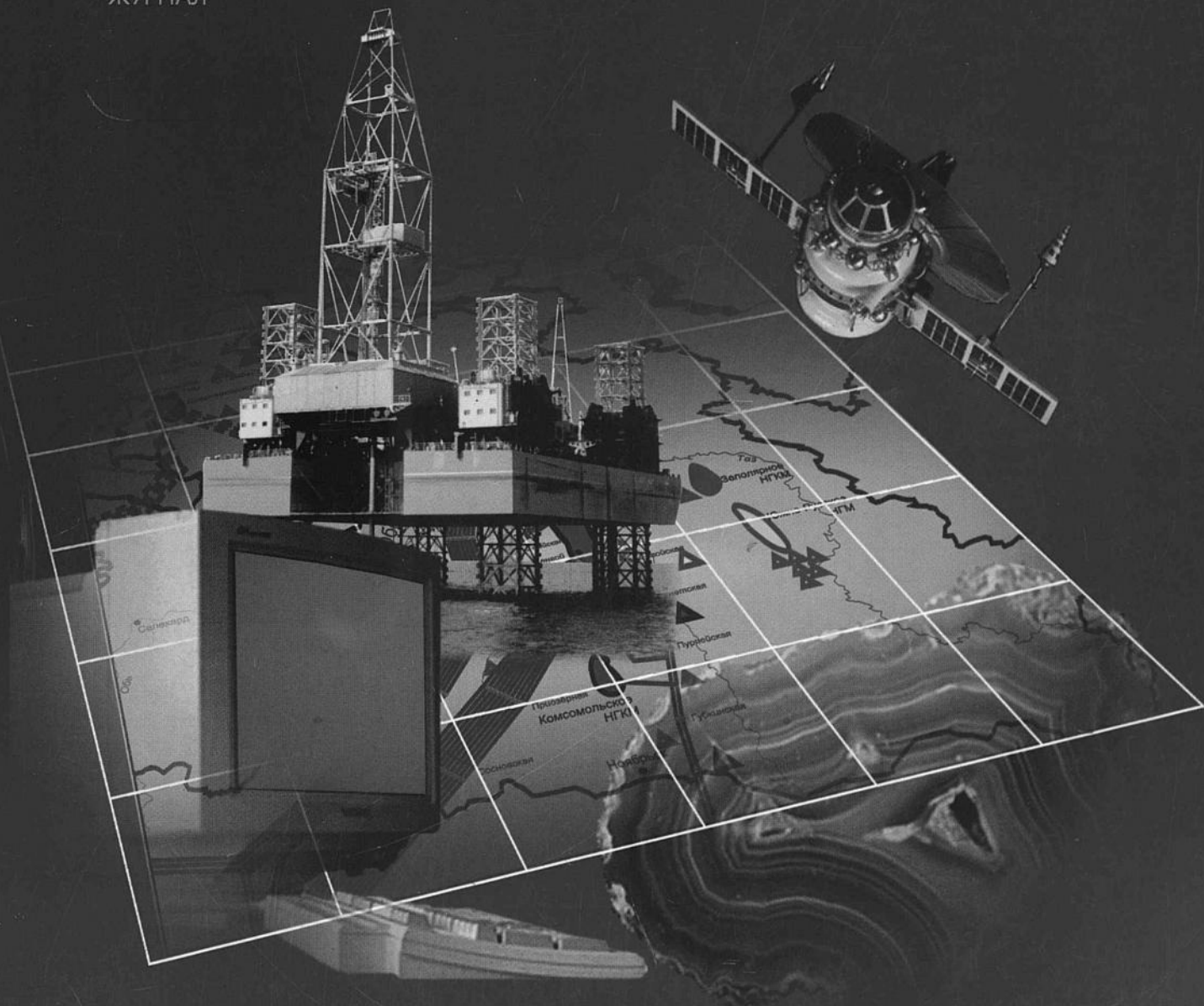


2/24/02

НАУКА И ТЕХНИКА В ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

НАУЧНО-
ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ



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

А.М. Деревягин, С.В. Селезнев, А.Р. Степанов
НПФ «Вымпел», Саратов

В последние годы в газовой отрасли уделяется большое внимание разработке средств контроля и технологий, обеспечивающих соблюдение показателей качества добываемого товарного газа. Особенно актуальна эта проблема при переходе основных месторождений Западной Сибири на позднюю стадию разработки. Одним из наиболее популярных влагомеров конденсационного типа в настоящее время является влагомер «КОНГ-Прима-2». Недавно научно-производственная фирма «Вымпел» разработала новую модель серии КОНГ — анализатор точки росы газа по влаге и по углеводородам «КОНГ-Прима-4». Анализатор «КОНГ-Прима-4» прошел успешные межведомственные испытания и рекомендован к внедрению на предприятиях нефтегазовой отрасли. По сравнению с «КОНГ-Прима-2» новый прибор обладает существенно более широкими функциональными возможностями.

Анализатор точки росы по влаге и углеводородам «КОНГ-Прима-4» (Анализатор) предназначен для измерения температуры точки росы по влаге и углеводородам в природном газе, воздухе и в других инертных газах. Анализатор относится к классу зеркальных гигрометров и реализует конденсационный метод измерения точки росы. Анализатор относится к классу высокоинтеллектуальных многоуровневых систем.

Анализатор может быть использован:

на установках комплексной подготовки природного газа (УКПГ);

на газоизмерительных станциях при транспортировке газовых потоков;

на станциях подземного хранения газа (СПХГ) для контроля процессов подготовки газа к транспорту;

для контроля показателей осушки газа на автомобильных газонаполнительных компрессорных станциях (АГНКС);

как элемент системы автоматического регулирования процесса осушки природного газа на СПХГ и УКПГ;

в качестве коммерческого влагомера в пунктах передачи газа от поставщика потре-

бителю как на внутрироссийском рынке, так и за его пределами (на Анализатор имеются все необходимые сертификационные документы);

для контроля влажности в замкнутых объемах: в полости трансформаторов, турбоагрегатов и т.д.

Основные функциональные особенности Анализатора:

наличие миниатюрного многофункционального волоконно-оптического чувствительного элемента, изготовленного по уникальной технологии (площадь зоны конденсации составляет всего 0,25 мм²);

автоматическая диагностика всех компонентов Анализатора и регенерация чувствительного элемента перед каждым циклом измерения;

автоматическая адаптация Анализатора к измерению точек росы по воде в присутствии ранее конденсируемых примесей без дополнительных настроек и применения дополнительных фильтрующих элементов, при этом реализуется возможность одновременного измерения наряду с точкой росы газа по влаге и точки росы по углеводородам;

наличие функции визуализации термодинамических процессов, протекающих на чувствительном элементе Анализатора в режиме on-line;

возможность настройки параметров измерительного цикла (скорость охлаждения и нагрева, толщина пленки конденсата и др.) в широких пределах, а также режимы работы прибора как в проточном, так и в диффузионно-конвекционном режиме;

наличие подсистемы сбора и хранения полученных данных об измеренных точках росы по влаге и углеводородам, а также всех параметров измерительного цикла в течение шести месяцев;

возможность дистанционной диагностики функционирования Анализатора и его администрирования.

В состав Анализатора входят следующие основные блоки: преобразователь точки росы (ПТР, до 4 шт.); центральный управляющий блок (ЦУБ).



Рис. 1. Анализатор точки росы «КОНГ-Прима-4»: ЦУБ – в центре; ПТР в проточном исполнении – слева; ПТР в погружном исполнении – справа

Внешний вид ЦУБ анализатора с двумя ПТР-ами представлен на рис. 1.

ЦУБ в составе анализатора выполняет следующие функции:

- управление процессом измерения ПТР и обработка результатов измерения;
- настройка параметров процесса;
- сбор и хранение данных;
- формирование сообщений о самодиагностике Анализатора;

роек, предустановленных из ЦУБ;

автоматическая диагностика компонентов ПТР и передача информации о самодиагностике в ЦУБ;

визуализация измеренных значений на встроенном индикаторе.

Анализатор выполнен в виде масштабируемой распределенной микропроцессорной системы и, при необходимости, может быть дополнен другими компонентами: дополни-

обеспечение интеграции Анализатора в АСУ ТП;

обеспечение электронной визуализации измерительных циклов на встроенном жидкокристаллическом дисплее.

ПТР при работе в составе Анализатора выполняет следующие функции:

измерение первичных сигналов и их нормализация;

автоматическое управление процессом измерения с учетом программных настроек;

Таблица 1

Основные технические характеристики Анализатора

Диапазон измерения температуры точки росы, °С	по влаге	для исполнений с ПТР КРАУ2.848.001, КРАУ2.848.001-01	-30...+30
		для исполнений с ПТР КРАУ2.848.001-02	-50...+10
	по углеводородам		-20...+30
Пределы основной абсолютной погрешности при измерении точки росы, °С	по влаге		±0,25, ±1, ±2
	по углеводородам		±1, ±2 (чистый пропан)
Рабочее давление исследуемого газа, МПа	для исполнений в комплекте с ПТР КРАУ2.848.001, КРАУ2.848.001-01		до 10
	для исполнений в комплекте с ПТР КРАУ2.848.001-02		до 25
Длительность цикла измерения температуры точки росы, мин	для исполнений в комплекте с ПТР КРАУ2.848.001, КРАУ2.848.001-01		3...10
	для исполнений в комплекте с ПТР КРАУ2.848.001-02		20...120
Выходной сигнал	цифровой		в соответствии с ЕΙΑ RS-485;
	аналоговый, мА		4...20
Питание	ПТР		= 20...27 В
	ЦУБ		~50 Гц 220 В +10/-15 %, 3 А
Масса, кг	ПТР, не более		6,5
	ЦУБ, не более		27
Габаритные размеры, не более, мм	ПТР исполнения КРАУ2.848.001		130x460x240
	ПТР исполнения КРАУ2.848.001-01		120x270x240
	ПТР исполнения КРАУ2.848.001-02		120x285x240
	ЦУБ		266x482x518

тельные первичные датчики, модули аналогового и дискретного ввода-вывода, внешнее регистрирующее устройство, модем/радио-модем и др.

Масштабируемость системы позволяет определять ее конфигурацию в зависимости от нужд потребителя: автономная работа ПТР как измерителя влажности, работа нескольких ПТР с визуализацией процессов конденсации на мониторе ЦУБ для исследовательских целей, использование полной конфигурации системы как анализатора конденсирующихся примесей.

Коммуникационные возможности Анализатора позволяют создать на его базе глобальную систему мониторинга точек росы газа, которая сможет наблюдать и контролировать показания приборов в любом месте их установки. Организационно-технически в настоящее время реализована трехуровневая модель получения, движения и накопления данных.

Первый уровень — измерение точек росы по влаге и углеводородам, сбор и хранение данных и передача их на второй уровень.

Второй уровень — единый операционный центр сбора, обработки и распределения информации, обеспечивающий дистанционную диагностику и администрирование Анализаторов.

Третий уровень — потребители информации, в том числе специалисты, занимающиеся анализом информации, администраторы. Потребители информации должны иметь персональный авторизованный доступ к информационным ресурсам системы через общие или корпоративные сети Internet/Intranet (или совместимые, например, «Единая ведомственная система передачи данных» ОАО «Газпром» и ее региональные составляющие), что обеспечит возможность дальнейшего роста количества пользователей без дополнительных расходов на оборудование и администрирование системы.

Основные технические характеристика Анализатора представлены в табл. 1.

Остановимся кратко на конструктивных особенностях реализации метода измерения точки росы и особенностях конструкции чувствительного элемента ПТР Анализатора.

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ТОЧКИ РОСЫ И КОНСТРУКЦИИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ПТР

В Анализаторе реализован конденсационный метод измерения точки росы. В основу любого конденсационного гигрометра положены три основных конструктивных элемента: конденсационное зеркало (охлаждающее устройство), система регистрации пленки конденсата и измеритель температуры поверхности зеркала.

В существующих гигрометрах, представленных на рынке промышленных конденса-

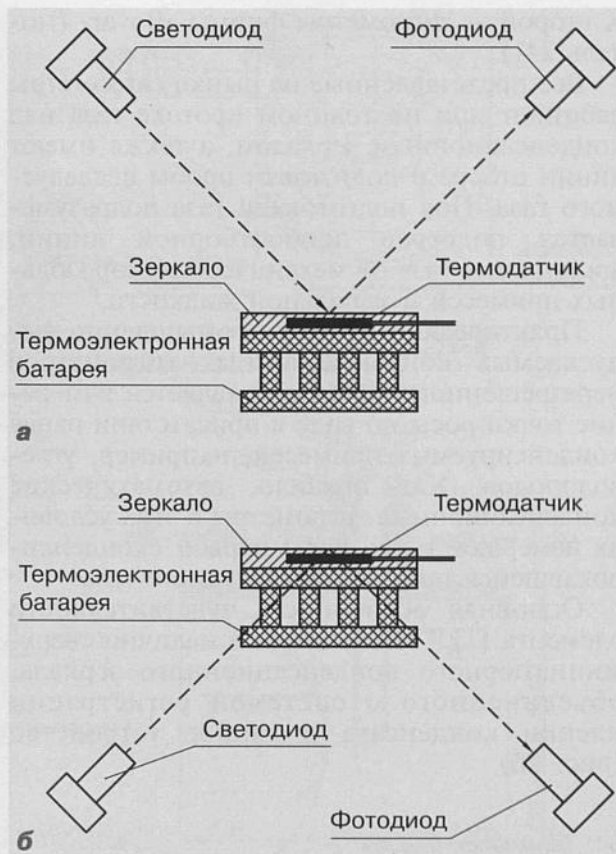


Рис. 2. Оптическая схема гигрометра, построенная по принципу а) рассеивания света; б) нарушения полного внутреннего отражения света

ционных гигрометров, в качестве конденсационного зеркала используются цилиндрические полированные поверхности диаметром 10 мм и больше. Для охлаждения конденсационного зеркала используются либо дроссельные холодильники, либо термоэлектрические охлаждающие устройства. В качестве системы регистрации пленки конденсата применяется оптическая схема, построенная по принципу рассеивания света (рис. 2а).

Алгоритмы функционирования автоматических конденсационных гигрометров можно разделить на две группы:

алгоритм, реализующий относительно быстрое снижение температуры зеркала до образования пленки конденсата с последующим удержанием заданной толщины пленки конденсата (при этом температура удержания пленки и является измеряемой точкой росы газа);

алгоритм, реализующий медленное охлаждение температуры зеркала с заданной скоростью (не более 1...2 °С/мин) с последующей регистрацией температуры образования пленки конденсата (при этом температура образования пленки и есть точка росы газа).

К представителям первой группы относятся гигрометры: фирмы «Michell» (модели CONDUMAX, S4000, DEWMET), фирмы «Marquis» (модели GIGROMAT 1100-02).

К второй — гигрометры фирмы «Bovar» (модель 241).

Все представленные на рынке гигрометры работают при постоянном протоке газа над конденсационным зеркалом, а также имеют линии отбора и подготовки пробы исследуемого газа. Под подготовкой газа подразумевается подогрев пробоотборной линии, фильтрация газа от механических, аэрозольных примесей и капельной жидкости.

Практически для всех промышленно выпускаемых конденсационных гигрометров неразрешенной проблемой является измерение точки росы по воде в присутствии ранее конденсируемых примесей, например, углеводородов. Как правило, автоматические конденсационные гигрометры в этих условиях измеряют точку росы первой сконденсировавшейся примеси исследуемого газа.

Основная особенность чувствительного элемента ПТР заключается в наличии сверхминиатюрного конденсационного зеркала, объединенного с системой регистрации пленки конденсата в единое устройство (рис. 2б).

Решение этой задачи было получено путем применения волоконно-оптического способа фиксации момента появления конденсата, основанного на принципе нарушения полного внутреннего отражения света.

Объединение системы регистрации с миниатюрным конденсационным зеркалом достигается за счет использования миниатюрного высокочувствительного волоконно-оптического элемента в качестве: конденсационного зеркала, системы регистрации пленки конденсата.

Измерение температуры точки росы при этом производится термодатчиком, сопряженным и соизмеримым с чувствительным элементом.

Уникальная технология сборки измерительного узла на основе кварцевого оптического волокна позволила получить субминиатюрное конденсационно-регистрирующее устройство с площадью не более $0,25 \text{ мм}^2$ (рис. 3).

Вышеизложенный подход к реализации конденсационного метода позволил:

получить высокие динамические характе-

ристики (миниатюрность конденсационного зеркала);

существенно повысить чувствительность к появлению пленки конденсата (высокая чувствительность волоконно-оптического элемента);

существенно снизить габариты и массу гигрометра и его энергопотребление.

Высокая чувствительность и миниатюрность конденсационно-регистрирующего элемента гигрометра позволяют измерять точку росы в заданном диапазоне и без организации принудительного потока исследуемого газа на конденсационную поверхность, т.е. для регистрации точки росы достаточно тех молекул воды, которые находятся в прилегающем к охлаждаемой поверхности слое газа. Эта особенность позволяет осуществлять массообмен влаги на уровне диффузионно-конвекционных процессов.

Реализованные в приборе конструктивные особенности позволяют проводить процесс измерения точки росы непосредственно в газовом потоке без искажения пробы газа фильтрующими элементами, т.е. осуществляется прямой контакт меж-

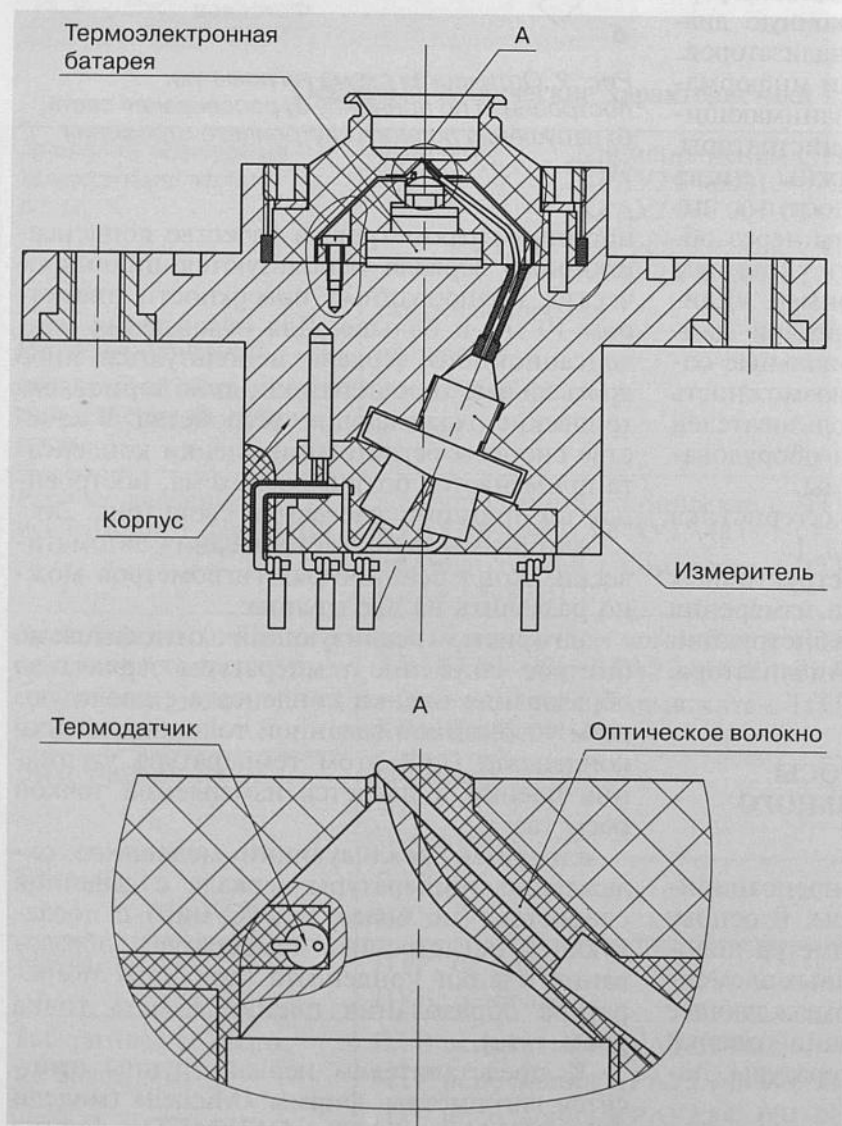


Рис. 3. Конструкция чувствительного элемента ПТР Анализатора

ду газовой средой и конденсационным зеркалом. Для этого используется пробоотборное устройство погружного типа (рис. 4).

Оригинальная конструкция системы погружного пробоотборного устройства с отсечным шаровым краном позволяет гигрометру успешно работать в загрязненных средах при рабочих давлениях до 10 МПа.

Торцевая часть пробоотборного устройства выполнена и расположена в потоке исследуемого газа таким образом, что осуществляется защита от прямого попадания брызг, капель и твердых частиц на конденсационное зеркало гигрометра. Более тонкая очистка газа от механических и аэрозольных примесей достигается за счет создания непосредственно над чувствительным элементом диффузионной зоны массообмена, которая препятствует проникновению частиц мелкодисперсных примесей за счет воздействия на них гравитационных сил.

Вместе с тем для ускорения процессов газообмена между потоком в трубопроводе и чувствительным элементом ПТР Анализатора пробоотборное устройство снабжено игольчатым клапаном, настроенным на расход 1 л/мин. Наличие в пробоотборном устройстве встроенного шарового крана существенно упрощает процесс монтажа/демонтажа ПТР без сброса давления в газовой магистрали.

Представленные выше технические решения запатентованы более чем в 10 странах, в том числе России, США, Японии и Китае. Анализатор имеет все необходимые сертификаты и может без ограничений применяться как в России и странах СНГ, так и в странах дальнего зарубежья.

ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АНАЛИЗАТОРА

Анализатор представляет собой автоматический измеритель точки росы по влаге и точки росы по углеводородам. Измерение этих значений происходит поочередно в циклическом режиме.

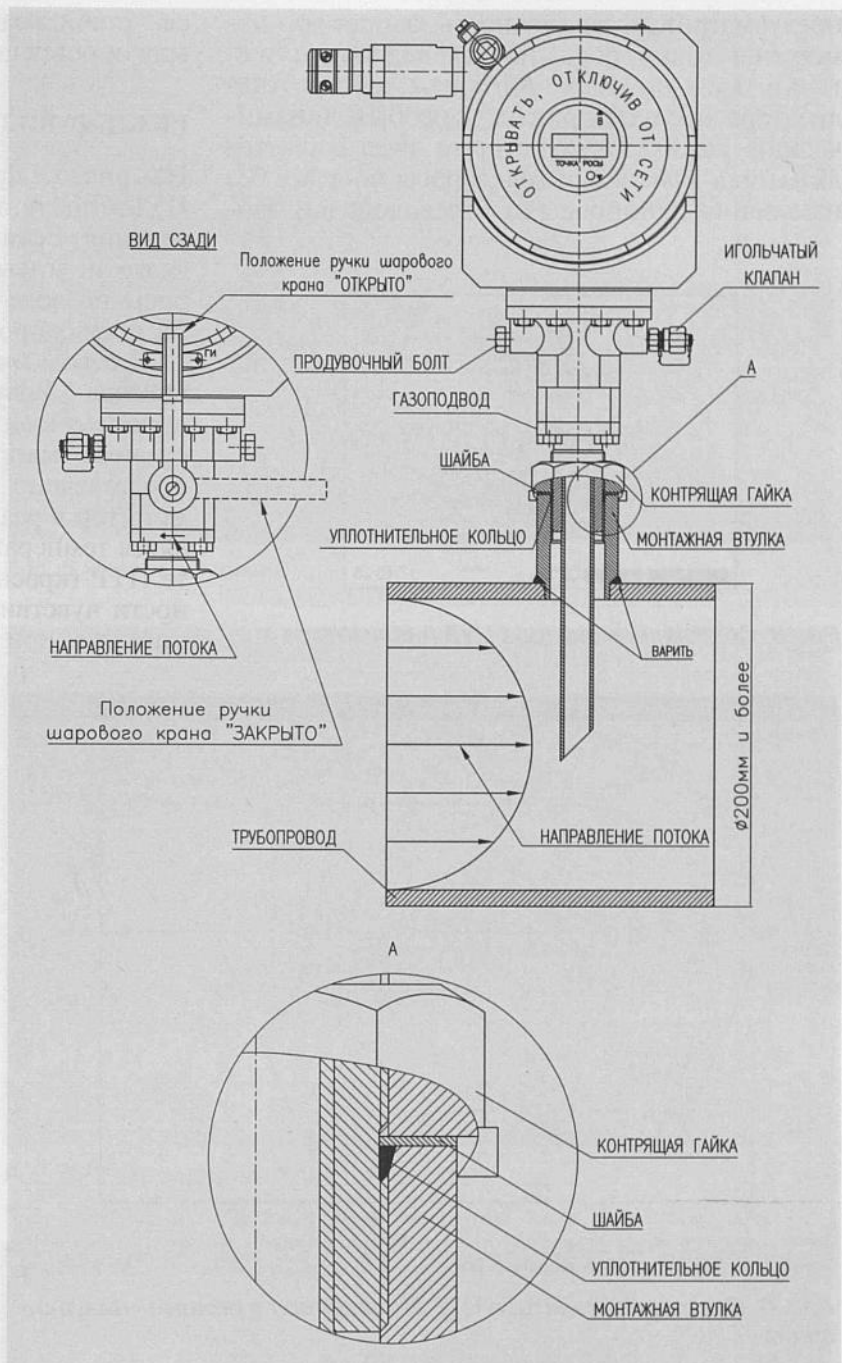


Рис. 4. ПТР Анализатора с пробоотборным устройством погружного типа

Сначала производится тестирование пробы газа на наличие в ней углеводородов (других ранее конденсируемых примесей). В зависимости от результатов теста выбираются параметры рабочих циклов. При обнаружении углеводородов Анализатор переходит в режим поочередного измерения точек росы по влаге и углеводородам. Критерием перехода к повторному тестированию служит либо изменение значения точки росы по влаге (на 2 °С и более), либо завершение определенного количества рабочих циклов.

Таким образом, в процессе работы Анализатора периодически в автоматическом режиме проверяется наличие в исследуемом газе ранее конденсируемых углеводородов. При необходимости, алгоритм работы анализатора

предусматривает возможность «запретить» измерение точки росы по углеводородам или точки росы по влаге. Алгоритм работы Анализатора предусматривает и особый динамический режим, при котором отслеживается динамика изменения точки росы по влаге без измерения точки росы по углеводородам. По-

сле стабилизации процесса происходит возврат к основному алгоритму работы.

РЕЖИМ «ВИЗУАЛИЗАЦИЯ»

На рис. 5. приведено состояние монитора ЦУБа после включения Анализатора и проведения серии измерений точки росы по влаге и углеводородам. На мониторе точка росы по воде обозначается как «DP H₂O», а по углеводородам «DP CH».

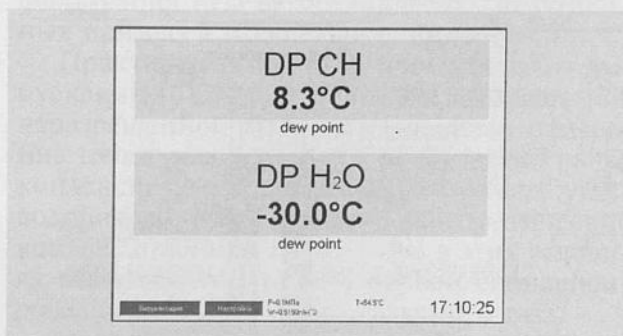


Рис. 5. Состояние монитора ЦУБ Анализатора

В левом нижнем углу монитора находится кнопка «Визуализация», нажатие которой приводит к активизации данного режима. Состояние монитора в режиме «Визуализация» представлено на рис. 6. В данном режиме на монитор в реальном масштабе времени выводятся температура на чувствительном элементе ПТР (красная линия) и состояние поверхности чувствительного элемента (зеленая ли-

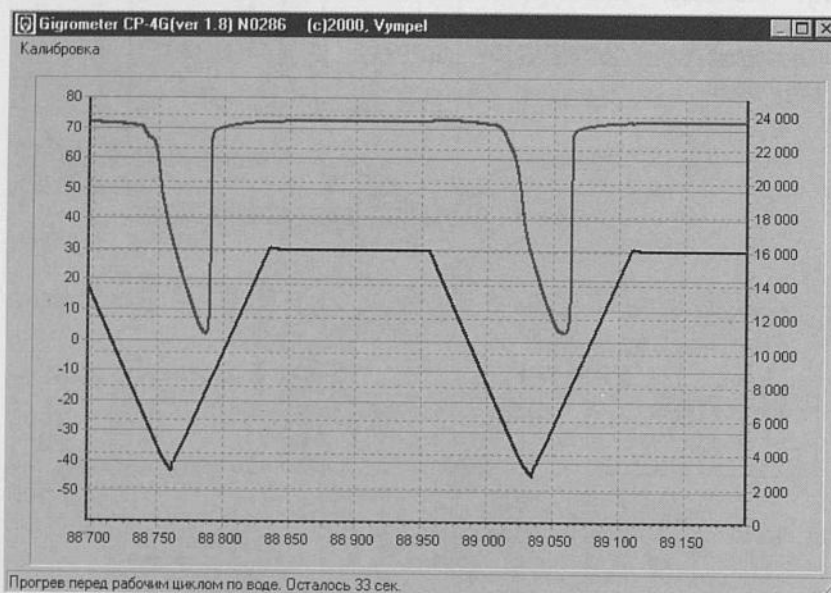


Рис. 6. Состояние монитора ЦУБ Анализатора в режиме «Визуализация»

нордов на поверхность чувствительного элемента происходит снижение уровня фотосигнала, а при испарении — соответственно повышение.

Алгоритм работы Анализатора содержит пять различных типов измерительных циклов: тестовый цикл 1; тестовый цикл 2; измерительный цикл по влаге; измерительный цикл по углеводородам; измерительный цикл по пленке конденсата.

Тестовый цикл 1 представляет собой процесс кратковременного удержания на чувствительном элементе (зеркале) ПТР программно-заданной пленки конденсата. По средней температуре удержания определяются основные рабочие параметры для тестового цикла 2, а также возможность измерения точки росы путем удержания пленки конденсата.

На рис. 7 и далее представлено состояние монитора ЦУБа Анализатора в соответствующих измерительных циклах при активизации режима «визуализация».

Процесс измерения точки росы в тестовом цикле 1 состоит из четырех основных фаз (рис. 7):

фаза 1 — нагрев и стабилизация температуры зеркала;

фаза 2 — охлаждение зеркала до температуры конденсации;

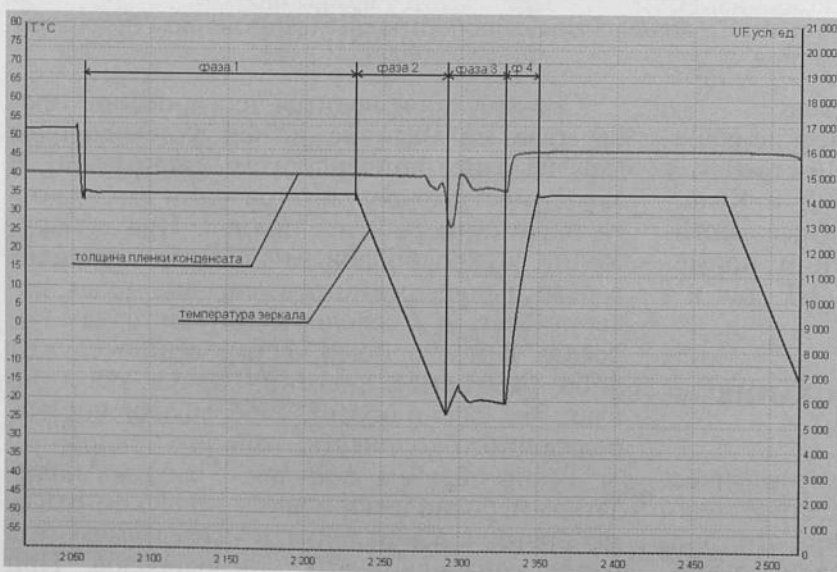


Рис. 7. Тестовый цикл 1

фаза 3 — стабилизация определенной толщины пленки конденсата путем регулирования температуры зеркала;

фаза 4 — нагрев зеркала после определения температуры, при которой наступила стабилизация толщины пленки конденсата.

Тестовый цикл 2 представляет собой процесс достаточно быстрого и «глубокого» охлаждения зеркала ПТР с последующим быстрым испарением. По анализу кривой конденсации и сравнению измеренных значений в первом и втором тестовых циклах определяются наличие в исследуемом газе углеводородов и параметры рабочего цикла для измерения точки росы по влаге.

Процесс измерения точки росы в этом цикле состоит из трех основных фаз (рис. 8):

фаза 1 — нагрев и стабилизация температуры зеркала;

фаза 2 — охлаждение зеркала и поиск температуры конденсации;

фаза 3 — нагрев зеркала и поиск температуры испарения.

Измерительный цикл по влаге (рис. 9) повторяет тестовый цикл 2, но имеет другие настроечные параметры. В результате выполнения этого цикла определяется реальное значение точки росы по влаге, выводимое на индикатор. При изменении измеренного в этом цикле значения точки росы на величину больше допустимого или при нормальном завершении определенного количества циклов происходит переход на тестовый цикл 1.

Измерительный цикл по углеводородам (рис. 10) представляет собой процесс медленного охлаждения зеркала ПТР с фиксацией температур начала конденсации (момента образования тонкой пленки конденсата). Измеренное в этом цикле значение выводится на индикатор в качестве точки росы по углеводородам.

Перед началом каждого цикла определяется степень загрязнения зеркала. В случае

падения чувствительности оптического тракта в два раза (до 50%) индицируется соответствующее сообщение на индикаторе и осуществляется регенерация чувствительно-

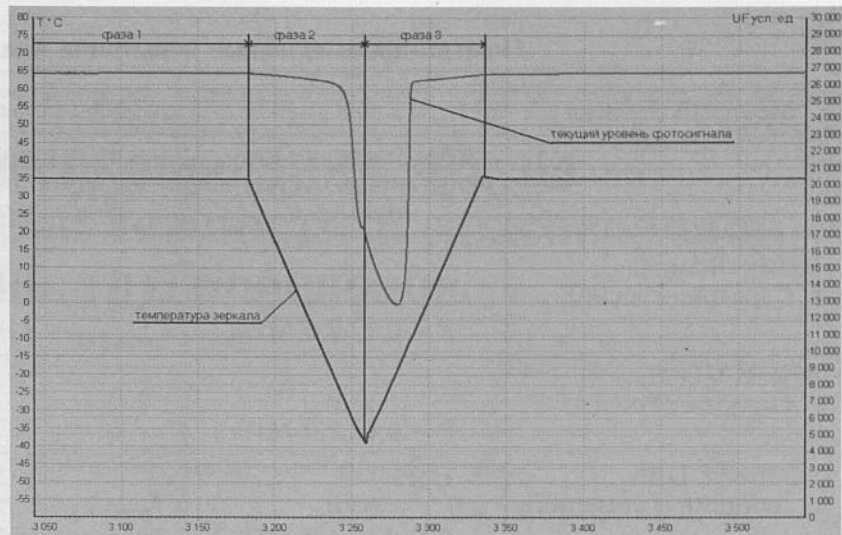


Рис. 8. Тестовый цикл 2

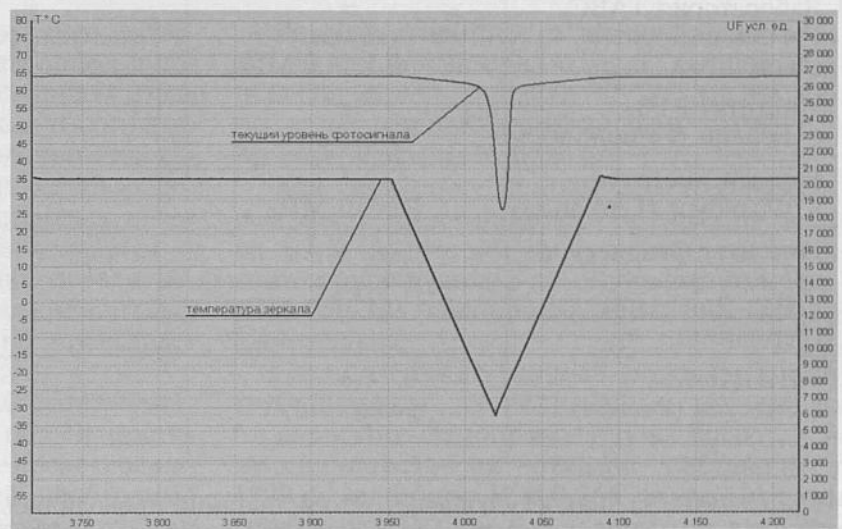


Рис. 9. Измерительный цикл по влаге

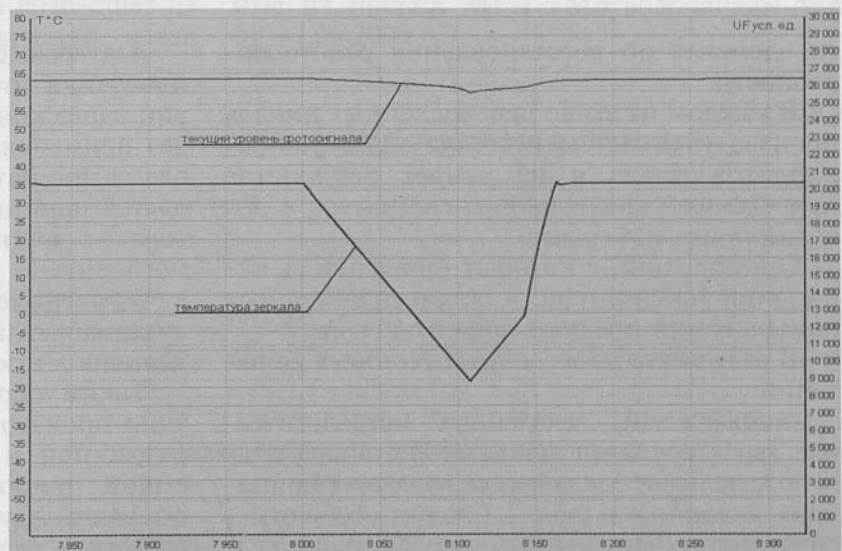


Рис. 10. Измерительный цикл по углеводородам

Опытно-промышленные испытания Анализатора

Место проведения испытаний	Виды испытаний		
	Метрологические испытания в отсутствии примесей	Испытания на влияние тяжелых углеводородов	Испытания на влияние паров гликолей (ДЭГа, ТЭГа)
НПФ «Вымпел», г. Саратов (Россия)	+ воздух, $P = 0,1...8,0$ МПа	+ $T_{\text{росы H}_2\text{O}} = -25...5$ °C $T_{\text{росы CH}} = +10...+15$ °C	+ +
ВНИИФТРИ, г. Иркутск (Россия)	+ азот, $P = 0,1...8,0$ МПа	-	-
Институт DBI, г. Лейпциг (Германия)	+ азот, $P = 0,1...4,0$ МПа	+ $T_{\text{росы H}_2\text{O}} = -20...0$ °C $T_{\text{росы CH}} = -5...+20$ °C $P = 4,0$ МПа	+ $n \leq 0,5$ мг/м ³ при $P = 4,0$ МПа
Лаборатория ТАВС, Рургаз, г. Дорстен (Германия)	+ метан, $P = 0,1...4,0$ МПа	+ реальные условия эксплуатации	-
Институт РТВ, г. Берлин (Германия)	+ азот, н.у.	-	-
Горный институт, г. Фрайбург (Германия)	+ $P = 10$ МПа	-	-
Институт физической хроматографии, г. Бад-Дюркхайм (Германия)	+ воздух, природный газ $P = 0,1...6,0$ МПа	-	-
«ВНИИГАЗ», г. Москва (Россия)	+ воздух, н.у.	-	+ $n = (0...5)$ мг/м ³ при н.у.

Примечания: 1) знак «+» означает, что испытания проводились, «-» — не проводились.

2) $T_{\text{росы H}_2\text{O}}$ (CH) — температура точки росы по влаге и углеводородам, соответственно; n — концентрация задаваемой примеси; P — давление измеряемой среды; н.у. — нормальные условия

го элемента до восстановления работоспособности.

В каждом из выше перечисленных циклов производится математическая обработка результатов цикла и на основе результатов проведенных анализов делается вывод о достоверности измерения.

Организации, в которых проводились испытания Анализатора, и объем проведенных исследований представлены в табл. 2.

В результате проведенных тестовых испытаний:

подтверждены заявленные метрологические характеристики Анализатора и получены положительные заключения во всех организациях, указанных в табл. 2. Следует особо отметить, что впервые для измерителей точки росы по воде, работающих при избыточных давлениях, было подтверждено отсутствие влияния рабочего давления на показания Анализатора. Этот важнейший результат был получен на эталонном генераторе влажного газа «Родник 100» в ВС НИИФТРИ (г. Иркутск);

подтверждена возможность корректного измерения точки росы по влаге в присутствии ранее конденсирующихся углеводородов без применения специальных фильтрующих элементов (угольный фильтр и т.п.). Это является принципиальным отличием Анализатора от других гигрометров конденсационного типа;

подтверждено отсутствие влияния на показания Анализатора по точке росы по влаге наличия в газе паров гликолей (ДЭГа, ТЭГа).

Таким образом, в настоящее время научно-производственной фирмой «Вымпел» разработан и серийно выпускается наукоемкий прибор — Анализатор точек росы по влаге и углеводородам, пригодный для работы в реальных условиях газовых промыслов, СПХГ и газотранспортных систем при наличии в потоке природного газа технологических примесей. Анализатор может использоваться как для контроля, так и для автоматизации технологических процессов в нефтегазовой отрасли. ■