

2830/05

ВЫПУСК № 1 (21)

2005

научно-технический журнал

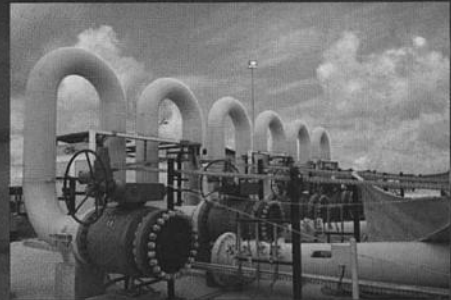
**НТ**

# НАУКА И ТЕХНИКА В ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ТЕМА НОМЕРА:

**СПГ И СЖТ: ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ**

ПРИРОДНЫЙ ГАЗ В ЖИДКОСТЬ:  
НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ



2

ПРОБЛЕМА КАЧЕСТВА  
В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА  
И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПГ

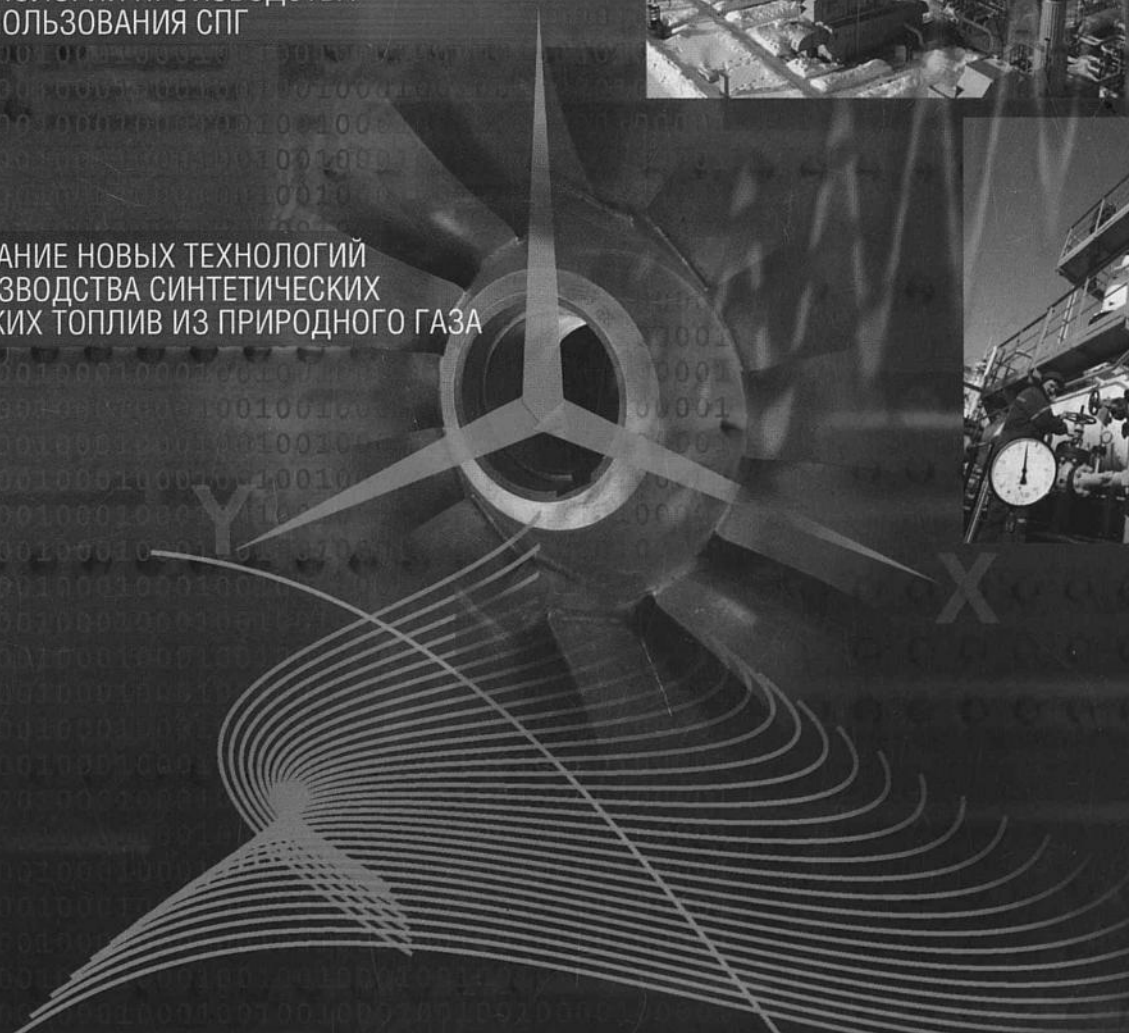


8

СОЗДАНИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
ПРОИЗВОДСТВА СИНТЕТИЧЕСКИХ  
ЖИДКИХ ТОПЛИВ ИЗ ПРИРОДНОГО ГАЗА



23



## «КОНГ-ПРИМА 10» – ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЙ АНАЛИЗАТОР ТОЧЕК РОСЫ ГАЗА ПО ВЛАГЕ И УГЛЕВОДОРОДАМ

**А.М. Деревягин, А.С. Фомин, А.Р. Степанов,  
С.В. Селезнев, А.Г. Агальцов, Ю.В. Михайлов**  
Научно-производственная фирма «Вымпел», Саратов

**В.А. Истомина**  
ООО «ВНИИГАЗ»

В последние годы анализаторы точек росы газа серии «КОНГ» получили широкое распространение в системах добычи и транспорта природного газа России, стран СНГ и Западной Европы. Принципы их действия и возможности практического использования детально описаны в научно-технической литературе [1-4]. Накопленный опыт применения анализаторов «КОНГ-ПРИМА 4» позволил сформулировать технические требования по их дальнейшему совершенствованию (апгрейту) с целью расширения сферы применимости, увеличения эксплуатационной надежности, уменьшения инерционности и повышения точности измерений.

Разработанный недавно научно-производственной фирмой «Вымпел» прибор нового поколения – анализатор точек росы «КОНГ-ПРИМА 10» (далее Анализатор) – обладает существенно более широкими функциональными возможностями. Он предназначен для измерения температур точек росы по водной фазе (влаге, водометанольному раствору, а при необходимости – по льду и газовым гидратам) и точки росы по тяжелым углеводородам в природных и попутных нефтяных газах различного компонентного состава, сжатом воздухе, азоте и других инертных га-

зах при рабочем давлении газовой среды.

В анализаторе точек росы «КОНГ-ПРИМА 10», как и в предыдущих моделях приборов серии «КОНГ-ПРИМА», реализован конденсационный принцип измерения с регистрацией процессов конденсации оптическими методами и использованием в качестве конденсационного зеркала (т.е. чувствительного элемента, далее ЧЭ) кремниевой пластины, поглощающей (в отсутствие пленки конденсата) свет практически полностью при его попадании на пластину под специально выбранным углом (углом Брюстера). Сохранены возможности измерения как на основе анализа кривых «охлаждение–нагревание», так и при поддержании пленки конденсата на охлаждаемой поверхности. По своей физической сути новый Анализатор является лазерным интерферометром, работающим одновременно по нескольким каналам отражения и рассеяния света (в отличие от предыдущих моделей приборов серии «КОНГ», основанных на принципе нарушения полного внутреннего отражения света в оптоволокне, а также конденсационных гигрометров других фирм, использующих преимущественно отражение света от конденсационного зеркала). Это позволяет не только одновременно определять темпера-

туры точек росы нескольких конденсирующихся примесей из природного газа, но и измерять прямым интерференционным методом толщину пленки конденсата на зеркале прибора, что расширяет возможности практического использования прибора. Анализатор относится к классу высокоинтеллектуальных многоуровневых систем. Измерения точек росы по влаге и углеводородам могут проводиться при рабочем давлении газовой среды до 25 МПа во взрывоопасных зонах и помещениях.

Новый интерференционный анализатор «КОНГ-ПРИМА 10» может использоваться:

- на установках комплексной подготовки природных газов (УКПГ);
- как основной элемент в системах автоматического регулирования абсорбционных и адсорбционных процессов осушки природного газа;
- на газоизмерительных станциях при транспортировке газовых потоков;
- на станциях подземного хранения газа (СПХГ) при подготовке газа к транспорту;
- для контроля степени доосушки газа на автомобильных газонаполнительных компрессорных станциях (АГНКС);
- в качестве коммерческого влагомера в пунктах передачи газа от поставщика потребителю как на внутри-



российском рынке, так и за его пределами (Анализатор имеет все необходимые сертификационные документы);

- в системах антиобледенения в качестве датчика первичной информации или в качестве системы контроля и сигнализации процесса обледенения;

- для контроля влажности в замкнутых объемах технологических аппаратов: в полости трансформаторов, турбоагрегатов и пр.;

- в совокупности с поверочным комплексом «КОНГ» и стационарными генераторами точек росы как научно-исследовательский прибор для изучения термодинамических процессов льдообразования, гидратообразования и конденсации – испарения воды в различных средах и при различных давлениях.

Кроме того, Анализатор может применяться в нефтяной и химической промышленности, металлургии, энергетике, приборостроении и других отраслях народного хозяйства для контроля качества технологических процессов по параметру – точка росы (влажность).

В состав Анализатора входят следующие основные блоки:

- преобразователь точки росы (ПТР);
- интерфейсный блок (ИБ) в различных исполнениях.

Внешний вид Анализатора представлен на рис. 1 (внешний вид прибора сохранился практически таким же, как и у анализатора «КОНГ-ПРИМА 4»).

Так же, как и для «КОНГ-ПРИМА 4» разработаны стационарная и переносная версии «КОНГ-ПРИМА 10» (включая и опцию автокалибровки).

ИБ в составе Анализатора выполняет следующие функции:

- управление процессом измерения ПТР и обработка результатов измерения;
- настройка параметров процесса (процессов);
- сбор и хранение данных;
- формирование сообщений о самодиагностике Анализатора;
- обеспечение интеграции Анализатора в АСУ ТП;
- возможность получения информации и администрирования Анализатора через общие или корпоративные сети Internet/Intranet.

ПТР при работе в составе анализатора выполняет следующие функции:

- измерение первичных сигналов и их нормализация;
- автоматическое управление процессом измерения с учетом программных настроек, предустановленных из ИБ;

- автоматическая диагностика компонентов ПТР и передача информации о самодиагностике в ИБ.

Коммуникационные возможности Анализатора практически идентичны возможностям анализатора «КОНГ-ПРИМА 4» [1, 2]. Организационно-технически реализована и методически отработана трехуровневая модель получения, движения и накопления данных.

Первый уровень – измерение точки росы по воде 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,

### Анализатор точки росы «КОНГ-ПРИМА 10»

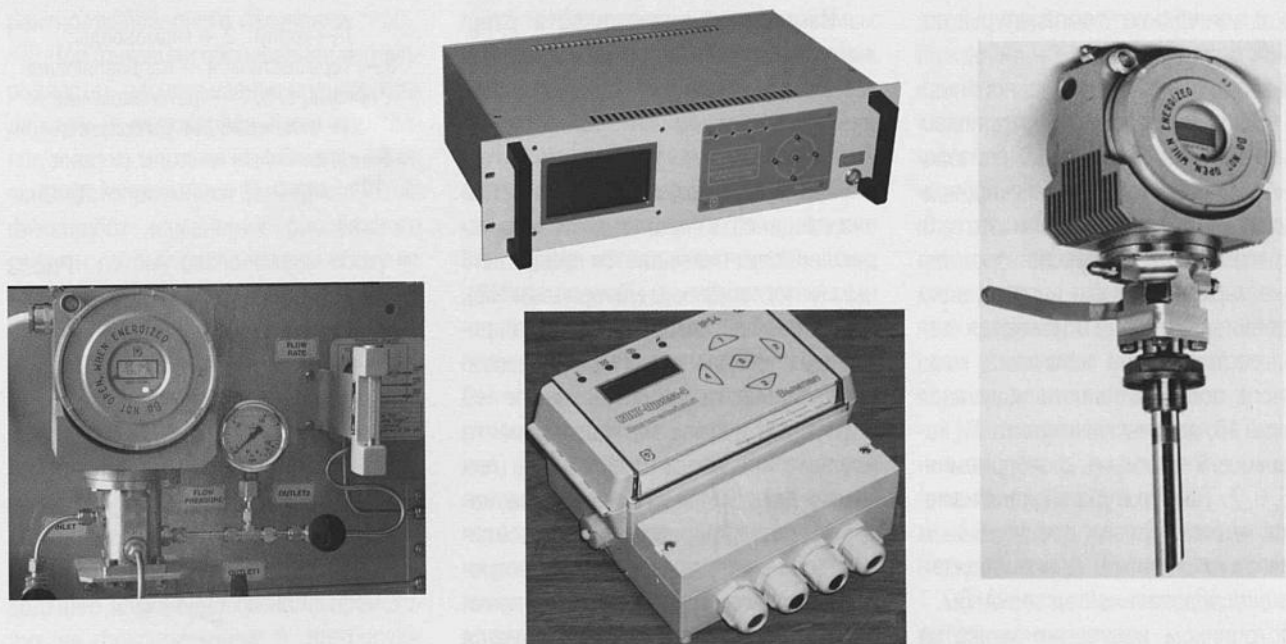


Рис. 1

ИБ в 2-х исполнениях (в центре); ПТР в проточном исполнении — слева, ПТР в погружном исполнении — справа

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 подсистемы), что обеспечивает возможность роста количества пользователей без дополнительных расходов на оборудование и администрирования системы в целом.

Перейдем к обсуждению конструктивных особенностей анализатора «КОНГ-ПРИМА 10» – конструкции чувствительного элемента и способов реализации метода измерения точек росы.

#### ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА И РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ТОЧЕК РОСЫ

В Анализаторе реализован конденсационный метод измерения точки росы (рис. 2). Как известно, в основу любого конденсационного гигрометра положены три обязательных конструктивных элемента: конденсационное зеркало с охлаждающим устройством, система регистрации пленки конденсата и измерение температуры поверхности зеркала.

В качестве конденсационного зеркала в Анализаторе используется пластина из аморфного кремния 9, расположенная на трехкаскадном полупроводниковом охлаждающем элементе 8. Для регистрации процессов, проходящих на зеркале при его нагреве и охлаждении, применена оптическая система, состоящая из источника когерентного поляризованного излучения (лазера) 10, оптического тракта 11, направляющей призмы 4, фотоприемников 5, 6, 7. Температура зеркала измеряется миниатюрным прецизионным платиновым датчиком 3, расположенным непосредственно под зеркалом.

Источником излучения является лазерный светодиод 10, поляризованный свет от которого через систему

оптических линз 4, 11 под определенным (специально заданным) углом попадает на кремниевую пластину 9 (зеркало или ЧЭ). Зеркало 9 охлаждается трехкаскадной термоэлектронной батареей 8. Отраженный от зеркала свет регистрируется по трем каналам: основному 6, работающему по отражению света, и двум дополнительным 5, 7, работающим по рассеянию света. По различной реакции каждого информационного канала на образование на зеркале при его охлаждении конденсата происходит дифференцирование компонентного состава конденсата (вода, лед, гидраты, углеводороды и др.).

Принцип регистрации образования на ЧЭ (зеркале) пленки конденсата основан на использовании эффекта Брюстера, что является новым моментом в гигрометрии. При падении поляризованного света на плоскую поверхность под определенным углом (углом Брюстера) на границе раздела сред «газ – кремниевая пластина» весь свет становится преломленным и поглощается пластиной аморфного кремния. При изменении свойств границы раздела сред (при появлении новой границы раздела: «газ–пленка конденсата») часть света отражается (рис. 3).

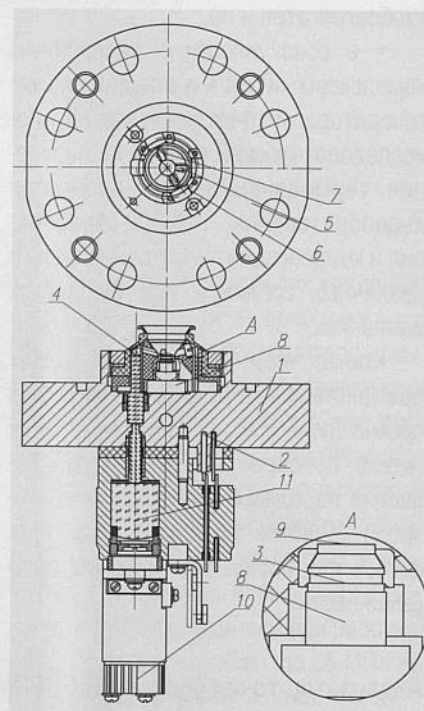
Изменения интенсивности отраженного луча фиксируются фотоприемником 5 (рис. 2), сигнал которого является основным интерференционным каналом.

Таким образом, на ЧЭ при отсутствии конденсата практически весь падающий свет оказывается преломленным (и поглощенным материалом ЧЭ), т.е. величины сигналов на фотоприемниках близки к нулю. При образовании конденсата на поверхности ЧЭ происходит изменение коэффициента преломления среды и появление тем самым двух отраженных сигналов, которые, интерферируя, могут усиливать или ослаблять друг друга в строгой зависимости от толщины пленки конденсата. Этот сигнал фиксируется фотоприемником 5, установленным напротив направляющей призмы

(регистрация прямого интерференционного сигнала). Величина этого сигнала зависит от длины волны лазера и толщины пленки конденсата. В результате реализуется принцип лазерного интерферометра, что позволяет, зная длину волны лазерного излучения,

Рис. 2

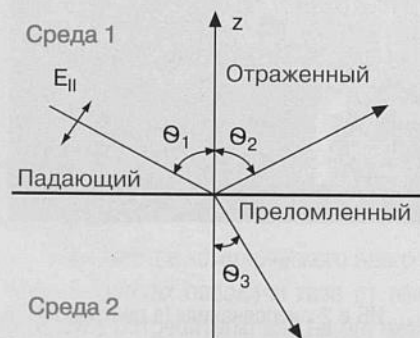
#### Датчик первичной информации Анализатора



- 1 — корпус; 2 — гермовводы;
- 3 — термодатчик; 4 — направляющая призма; 5, 6, 7 — фотоприемники;
- 8 — охлаждающее устройство;
- 9 — кремниевая пластина (зеркало);
- 10 — лазер; 11 — оптический тракт

Рис. 3

#### Схема, поясняющая использование эффекта Брюстера





определять толщину пленки конденсата и ее изменение во времени.

Вышеприведенные рассуждения, строго говоря, справедливы для случая образования однородной смачивающей пленки конденсата на ЧЭ и характерны для конденсации углеводородов, имеющих низкое поверхностное натяжение. В то же время для процесса конденсации влаги (водной фазы) на ЧЭ, в отличие от конденсации углеводородов, реализуется более сложная физическая картина: рост островков пленок воды на охлаждаемой поверхности идет до определенного предела (образования равномерной пленки конденсата по всей пластине не происходит); далее островки пленки воды начинают спонтанно собираться в капли (этот процесс обусловлен высоким поверхностным натяжением воды и водных растворов), затем капли могут замерзнуть и/или «загидрачиваться» (т.е. образуются кристаллы). Указанные процессы сопровождаются резким увеличением рассеянного света (светового потока, отражаемого на неоднородностях пленки конденсата в различных направлениях внутри измерительной камеры Анализатора) и ослаблением отраженного. При этом теряется когерентность лазерного излучения.

Для фиксации образования неоднородностей распределения водного конденсата («микрокапель») или кристаллов льда и гидратов на ЧЭ предназначены фотоприемники 6 и 7 (рис. 2). Они фиксируют изменение рассеянного света и потому расположены сбоку от направляющей призмы и фотоприемника, фиксирующего прямой отраженный сигнал. Фотоприемник 6 фиксирует изменение интенсивности рассеиваемого света по ходу светового потока лазера (прямое рассеяние), а фотоприемник 7 – в противоположном направлении (обратное рассеяние).

При появлении капель влаги наибольшее изменение сигнала происходит на фотоприемнике 6, фиксирующем интенсивность рассеянного света в прямом направлении от направляющей

призмы лазера. При появлении на зеркале кристаллов (лед или гидрат) происходит увеличение сигнала одновременно на фотоприемниках 6 и 7, связанное с резким увеличением рассеивания света в различных направлениях от образовавшихся кристаллов льда/гидрата по сравнению с величиной рассеивания света от мелких капель влаги (тумана). И в первом, и во втором случае величина сигнала на фотоприемнике 5 уменьшается. При появлении и росте пленки углеводородов изменение рассеянного сигнала на фотоприемниках 6 и 7 происходит незначительно, в то время как величина прямого (отраженного) сигнала сильно изменяется (из-за интерференции) в зависимости от толщины пленки углеводородов.

Таким образом, использование трех каналов фиксации интенсивности рассеиваемого светового потока позволяет однозначно дифференцировать конденсацию на зеркале влаги и углеводородов, а также определять момент образования твердой водной фазы (льда и газового гидрата).

Практически для всех конденсационных гигрометров серьезной и до конца не решенной проблемой является измерение точки росы по воде в присутствии ранее конденсируемых примесей – в нашем случае тяжелых углеводородов. Как правило, автоматические конденсационные гигрометры в этих условиях измеряют точку росы первой сконденсировавшейся примеси из исследуемого газа. Однако благодаря используемому в новом приборе способу, т.е. посредством одновременного анализа прямого и рассеянного сигналов, можно четко определять, конденсация какого именно компонента (влаги или углеводородов) происходит на ЧЭ. Наличие нескольких каналов измерения также позволяет измерить температуру точки росы по углеводородам, находящуюся ниже температуры точки росы по влаге. Эту особенность следует рассматривать как существенное преимущество разработанного прибора.

## АЛГОРИТМ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР ТОЧЕК РОСЫ

Анализатор представляет собой автоматический измеритель. При этом измерение значений точки росы по влаге и точки росы по углеводородам происходит в едином цикле, что является существенным отличием от других приборов серии «КОНГ-ПРИМА». Эта особенность позволяет сократить время измерения практически в два раза за счет отсутствия предварительных циклов тестирования пробы, и, следовательно, появляется возможность повысить частоту проведения измерений (т.е. уменьшить инерционность прибора, что представляет интерес при исследовании переходных процессов в системах добычи и транспорта газа).

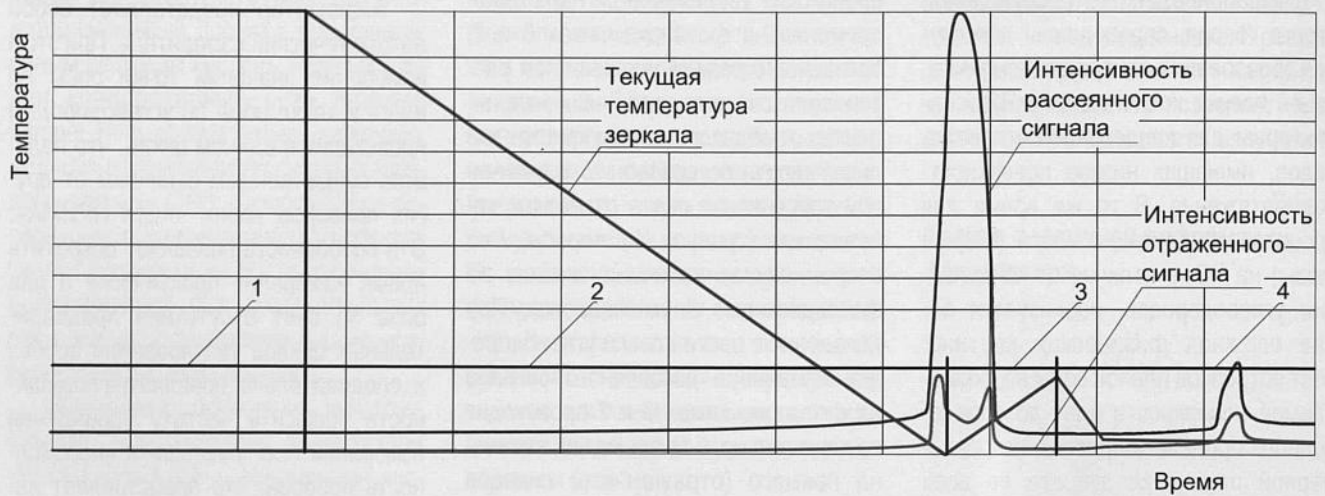
С физической точки зрения алгоритм работы Анализатора содержит два различных типа измерительного подцикла – по влаге и по углеводородам, которые с учетом оригинальных конструктивных особенностей прибора удается объединить в один универсальный цикл за счет параллельной работы нескольких каналов приема фотосигналов.

Измерительный подцикл по влаге состоит из нескольких этапов. Первый этап представляет собой процесс охлаждения ЧЭ до температуры конденсации с последующим нагреванием до температуры испарения (этот этап можно назвать этапом нахождения «предварительной» точки росы). После этого путем анализа поведения фотосигнала при поддержании определенной температуры ЧЭ полученное предварительное значение точки росы уточняется (это второй этап точного определения точки росы).

Мы выделяем в процессе измерения точки росы по влаге четыре фазы (рис. 4):

- 1 – нагрев и стабилизация температуры зеркала на заданном уровне;
- 2 – охлаждение зеркала до температуры конденсации;
- 3 – нагрев зеркала до температуры испарения;

## Измерительный подцикл по влаге (цифры у кривых — фазы измерительного подцикла)



4 – поддержание заданной температуры с целью точного определения точки росы.

Измерительный подцикл по углеводородам (рис. 5) представляет процесс достаточного медленного охлаждения зеркала ПТР с фиксацией температур начала конденсации (момента образования тонкой пленки конденсата) и последующего испарения. Измеренное в этом цикле значение выводится на индикатор в качестве точки росы по углеводородам.

Перед началом каждого цикла определяется степень загрязнения ЧЭ и степень прогрева корпуса ПТР. В случае перегрева корпуса выше определенной температуры (принята равной 41 °С) или нарушения ста-

бильности сигнала (из-за загрязнения датчика) индицируется соответствующее сообщение на индикаторе и осуществляется повышенный прогрев ЧЭ до восстановления работоспособности (вплоть до температуры 55 °С). Две вышеуказанные реперные температуры выбраны с учетом опыта эксплуатации приборов серии «КОНГ-ПРИМА» в газопромысловых и газотранспортных системах, и их значения при необходимости могут быть изменены (скорректированы).

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

#### ПРИМЕНЕНИЕ АНАЛИЗАТОРА ДЛЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ

Применение нового вида датчика первичной информации в совокупности с расширенными аппаратными и программными ресурсами Анализатора дает возможность моделировать термодинамические и кинетические процессы на чувствительном элементе. Все это позволяет использовать Анализатор как научно-исследовательский комплекс для изучения термодинамики и кинетики процессов льдообразования, гидратообразования, а также конденсации-испарения воды и углеводородов в различных газовых средах и при различных давлениях.

Возможности Анализатора как средства для проведения научных работ связаны с тем, что анализ процессов, протекающих на зеркале прибора, проводится с нескольких, а точнее с трех «точек зрения» (по трем измерительным каналам). Это позволяет определять, в каком именно фазовом состоянии находится конденсат на ЧЭ: в жидком (вода, ВМР) или твердом (лед или гидрат). Определение методом лазерной интерференции толщины пленки конденсата в динамическом режиме позволяет проводить кинетические исследования быстротекущих процессов на ЧЭ.

В настоящее время в исследовательской лаборатории НПФ «Вымпел» с

Рис. 5

## Измерительный подцикл по углеводородам





использованием нового Анализатора и стационарного генератора точек росы газа проводятся прецизионные исследования точек росы газа по воде и газовым гидратам в зависимости от остаточной влажности газа и его давления. Кроме того, исследуются времена жизни пленок переохлажденной воды на ЧЭ в зависимости от их толщины и движущей силы процесса кристаллизации водной фазы (кристаллизации в лед или газовый гидрат в зависимости от термобарических условий проведения процесса). Этот этап исследований необходим для доработки алгоритмов измерения точек росы газа по газовым гидратам, что в настоящее время представляет практический интерес в связи с предстоящим принятием новой редакции ОСТ 51-40, в котором нормируется термодинамически наиболее стабильная точка росы газа.

Следующий этап перспективных исследований – кинетика конденсации водометанольного (водоэтанольного и водоизопропанольного) раствора на ЧЭ, что согласно проведенным нами оценкам в принципиальном отношении позволяет разработать методики определения содержания низших алифатических спиртов в сжатых природных газах при погрешности на уровне 10-15 % (отпадает необходимость применения поточных хроматографов со специальными капиллярными колонками). Кроме того, данные по кинетике конденсации тяжелых углеводородов на ЧЭ позволят – уже в сочетании с хроматографическим анализом – более достоверно моделировать низкотемпературные технологические процессы промышленной подготовки газа (в частности, детектировать повышенные уносы капельной жидкости из концевого низкотемпературного сепаратора).

#### МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ АНАЛИЗАТОРА

Анализатор прошел метрологические испытания с целью утверждения типа средств измерения в Восточно-Сибирском НИИФТРИ (г. Иркутск)

в мае 2004 г. В результате проведенных тестов подтверждены заявленные фирмой-изготовителем метрологические характеристики Анализатора и получен сертификат на соответствие типу средств измерения.

Испытания проводились на генераторе влажного газа образцовом динамическом «Родник-2» с абсолютной погрешностью воспроизведения точки росы, равной  $\pm 0,1$  °С. Отклонение от заданного значения не превысило погрешности генератора «Родник-2». Результаты проведенных испытаний представлены на рис. 6.

Следует особо отметить, что было подтверждено отсутствие влияния рабочего давления на показания Анализатора. Этот результат также получен в Восточно-Сибирском НИИФТРИ на установке высшей точности УВТ 103-А-2001 (абсолютная погрешность воспроизведения точки росы не более  $\pm 0,1$  °С, рабочее давление – до 10 МПа). При этом отклонение от заданного значения также не превысило погрешности образцового средства, т.е.  $0,1$  °С.

Кроме того, проводились метрологические испытания и по углеводородам с использованием возможностей поверочного стенда фирмы «Вымпел» (г. Саратов). Абсолютная погрешность Анализатора по углеводородам определялась при измерении точки росы чистого пропана при фиксированном давлении паров пропана. Результаты испытаний приведены в табл. 1. По результатам испытаний можно констатировать, что погрешность измерения Анализатора по углеводородам в диапазоне температур точки росы от минус 30 до плюс 30 °С не превышает  $0,2$  °С.

Дополнительные метрологические испытания Анализатора проводились в исследовательской лаборатории фирмы «Вымпел» на рабочем эталоне нулевого разряда единицы температуры точки росы «КОНГ-Эталон», аттестованном в Восточно-Сибирском НИИФТРИ и зарегистрированном во ВНИИ метрологической службы (№ ВЭТ 158-1-2004). Испытания проводились при различных давлениях в диапазоне 0,1-8,0 МПа [3]. Температура точки росы по углеводородам задавалась по октану и декану. В результате проведенных испытаний Анализатор подтвердил заявленные точностные характеристики в рабочем диапазоне температур и давлений.

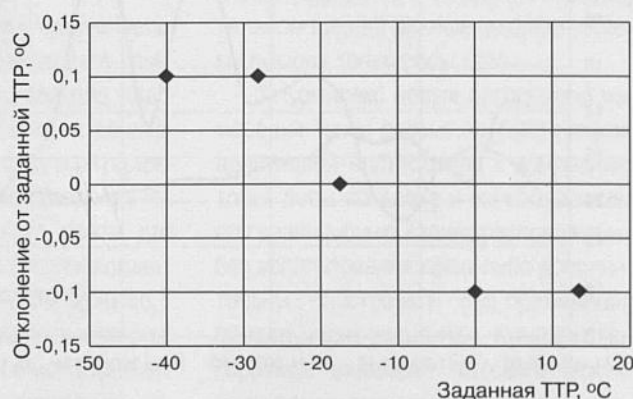
Указанный рабочий эталон «КОНГ-Эталон» может использоваться для периодической поверки Анализатора как по влаге, так и по углеводородам. Для поверки точки росы по влаге также может быть использован и портативный переносной поверочный комплекс «КОНГ», серийно выпускаемый фирмой «Вымпел».

#### ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ АНАЛИЗАТОРА НА ОБЪЕКТАХ ООО «ЮГТРАНСГАЗ»

Анализатор «КОНГ-ПРИМА 10» в период с 10 по 25 октября 2004 г. прошел испытания в Алгайском ЛПУМГ

Рис. 6

Отклонение значения температуры точки росы, измеренной анализатором «КОНГ-ПРИМА 10», от заданной по образцовому средству измерения (генератор влажного газа «Родник-2»)



ООО «Югтрансгаз». Испытания проводились на различных газовых потоках:

- ГИС «Средняя Азия–Центр-3» (САЦ-3) – неосушенный «туркменский» газ с механическими и аэрозольными примесями после компримирования. Давление исследуемого газа – 4,7 МПа, температура – +34,5 °С;

- ГИС «Оренбург-2» – неосушенный газ с температурой точки росы, близкой или равной температуре газа, с большим количеством механических и аэрозольных примесей в виде капельной влаги и нефтепродуктов. Давление исследуемого газа – 4,3 МПа, температура – +15,4 °С;

- ГИС «Оренбург-1» – газ, прошедший технологическую подготовку и осушку с наличием конденсируемых ранее из влаги углеводородов и с незначительным количеством механических и аэрозольных примесей. Давление исследуемого газа – 3,7 МПа, температура – +12 °С.

ГИС «Оренбург-2» является входом «туркменского» газа, а ГИС «САЦ-3» – выходом после компримирования.

Подключение и монтаж Анализатора осуществлялись непосредственно на трубопроводе с использованием пробоотборного устройства погружного типа. Для этой цели ПТР анализатора «КОНГ-ПРИМА 10» устанавливался на место штатного преобразователя «КОНГ-

Таблица 1  
Результаты метрологической аттестации Анализатора по углеводородам

| Заданное давление насыщенных паров пропана, МПа | Соответствующее заданному давлению значение температуры точки росы, °С | Измеренное Анализатором значение температуры точки росы, °С | Погрешность измерения, °С |
|---|--|---|---------------------------|
| 0,17  | -29,64   | -29,8   | 0,2                       |
| 0,2   | -25,42   | -25,5   | 0,1                       |
| 0,24  | -20,47   | -20,5   | 0,0                       |
| 0,3   | -14,14   | -14,1   | 0,0                       |
| 0,34  | -10,43   | -10,4   | 0,0                       |
| 0,4   | -5,44  | -5,3  | 0,1                       |
| 0,5   | 1,77   | 1,9   | 0,1                       |
| 0,6   | 7,97   | 8,0   | 0,0                       |
| 0,65  | 10,78  | 10,9  | 0,1                       |
| 0,75  | 15,97  | 15,9  | -0,1                      |
| 0,85  | 20,67  | 20,5  | -0,2                      |

ПРИМА 2», использующегося для контроля влажности газа на указанных ГИС. Показания анализатора сравнивались с показаниями преобразователя «КОНГ-ПРИМА 2» (ГИС «САЦ-3» и «Оренбург-2») и анализатора «КОНГ-ПРИМА 4» (ГИС «Оренбург-1»), установленных на параллельных нитках ГИС.

Результаты работы Анализатора на ГИС «САЦ-3» приведены на рис. 7.

Из графика совместной работы анализатора «КОНГ-ПРИМА 10» и преобразователя точки росы «КОНГ-ПРИМА 2» видно, что показания анализа-

тора «КОНГ-ПРИМА 10» более стабильны и колеблются в диапазоне от плюс 15 до плюс 16 °С. При этом показания преобразователя «КОНГ-ПРИМА 2» имеют существенно больший разброс – от плюс 14 до плюс 20 °С. Это связано с периодическим загрязнением чувствительного элемента преобразователя «КОНГ-ПРИМА 2».

На рис. 8 приведены результаты работы анализатора «КОНГ-ПРИМА 10» на ГИС «Оренбург-1» в сравнении с работой анализатора «КОНГ-ПРИМА 4».

Анализатор «КОНГ-ПРИМА 10» на ГИС «Оренбург-1» стабильно измерял точку росы по влаге и точку росы по углеводородам. Из графика совместной работы анализатора «КОНГ-ПРИМА 10» и анализатора точки росы «КОНГ-ПРИМА 4» (рис. 8) видно, что анализатор «КОНГ-ПРИМА 10» быстрее реагирует на изменение точки росы по влаге и имеет более стабильные показания при измерении точки росы по влаге.

На ГИС «Оренбург-2» температура точки росы газа по влаге практически совпадает с температурой газа. В таких условиях измерительная камера Анализатора служит своеобразным генератором влажности — температура точки росы внутри измерительной камеры отслеживает изменение температуры камеры. Данное заключение

Результаты работы Анализатора на ГИС «САЦ-3»

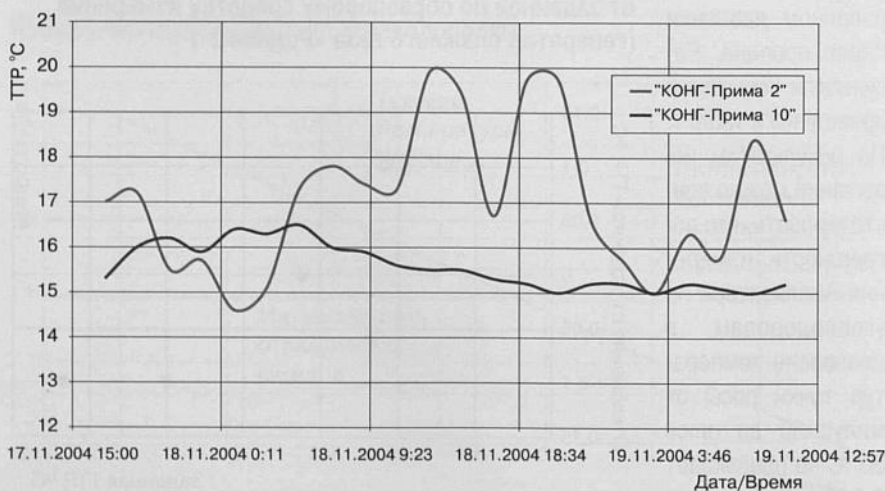


Рис. 7



подтверждается результатами испытаний анализатора на ГИС «Оренбург-2», представленными на рис. 9. В процессе работы Анализатора происходят циклическое охлаждение и нагрев зеркала, что, в свою очередь, приводит к колебаниям температуры его корпуса и, соответственно, температуры измерительной камеры и температуры точки росы в ней.

За весь период испытаний в течение 15 дней показания анализатора «КОНГ-ПРИМА 10» были стабильны. Сбоев в работе не было. Чистка чувствительного элемента (конденсационного зеркала) не проводилась. В то же время преобразователь «КОНГ-ПРИМА 2» периодически нуждался в проведении чистки чувствительного элемента. Отсутствие необходимости чистки ЧЭ анализатора «КОНГ-ПРИМА 10» обусловлено наличием оригинального алгоритма самоочистки зеркала, суть которого состоит в контроле за состоянием зеркала после каждого измерительного цикла. Контроль осуществляется с помощью интерференционного (прямого) канала: пока пленка конденсата полностью не испарится, прибор не начинает нового цикла измерений.

В результате проведенных испытаний подтверждена возможность корректного измерения точки росы по влаге в присутствии ранее конденсирующихся углеводородов без применения специальных фильтрующих элементов (угольный фильтр и т.п.).

В дальнейшем предполагается продолжить как лабораторные, так и промышленные испытания Анализатора. Перспективными направлениями являются:

- испытания в условиях промышленной добычи и подготовки газа на Ямбургском НГКМ;
- тестовые испытания в Западной Европе на различных газовых потоках;
- лабораторные испытания с целью расширения возможностей Анализатора и для разработки комплексных методов определения компонентного состава измеряемой среды (метанола, «хвоста» тяжелых углеводородов).

Рис. 8

Результаты работы анализаторов на ГИС «Оренбург-1»

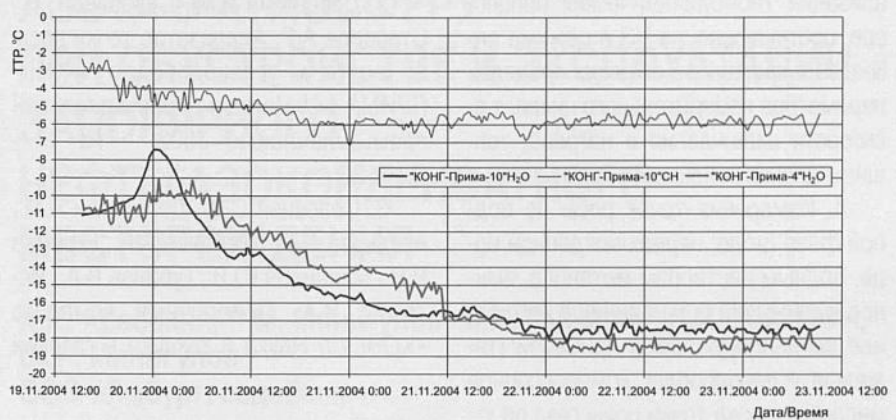
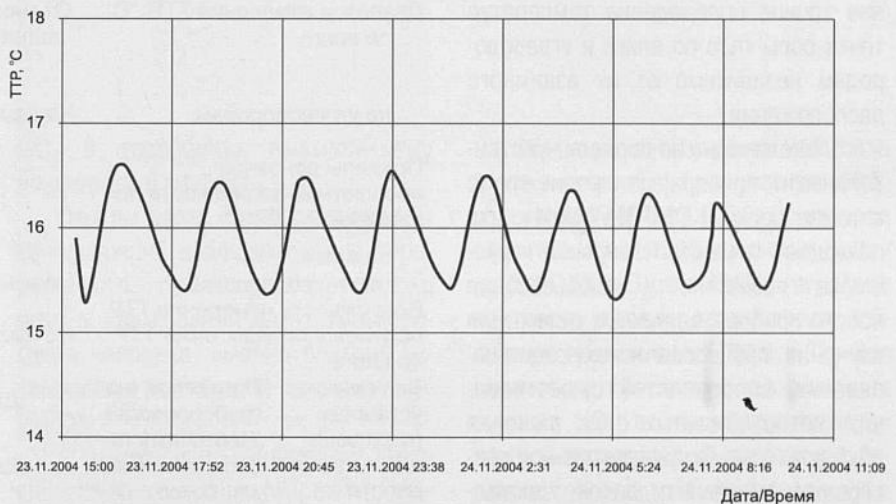


Рис. 9

Результаты работы анализатора на ГИС «Оренбург-2»



В заключение выделим основные отличительные особенности анализатора «КОНГ-ПРИМА 10» по сравнению с предыдущими моделями приборов этой серии. В табл. 2 представлена сравнительная характеристика приборов семейства «КОНГ».

1. Новая конструкция чувствительного элемента, использующая в качестве конденсационного зеркала пластинку аморфного кремния, в сочетании с эффектом Брюстера и интерференционным принципом измерения интенсивности отраженного света для определения толщины пленки конденсата на ЧЭ в динамическом режиме.

2. Наличие трех существенно различных каналов измерения отраженного света, что в принципиальном от-

ношении позволяет проводить отдельный анализ конденсирующихся на зеркале прибора жидких водной и углеводородной фаз, а также твердой фазы (лед, гидраты) по независимым измерительным каналам, т.е. одновременно определять (в одном измерительном цикле!) разные по физическому смыслу точки росы газа.

3. Комплекс новых алгоритмов измерения точек росы с автоматической адаптацией Анализатора к измерению точек росы по влаге и углеводородам при различном их взаиморасположении без использования каких-либо дополнительных настроек и без применения фильтрующих элементов. Комплекс алгоритмов включает автоматическую диагностику всех компонентов Анали-

затора и регенерацию ЧЭ перед каждым циклом измерения; функцию визуализации термодинамических процессов, протекающих на ЧЭ в режиме online; варьирование в широких пределах параметров измерительного цикла, т.е. скорости охлаждения и нагрева, толщины пленки конденсата и пр.

4. Измерения точек росы по водной фазе (воде, переохлажденной воде, водным растворам метанола, аминов и гликолей) при наличии в газе ранее конденсирующихся примесей (тяжелые углеводороды, компрессорное масло), а также точки росы газа по углеводородам в присутствии ранее конденсирующейся влаги (водной фазы). Как следствие, более надежное и более точное определение температур точек росы газа по влаге и углеводородам независимо от их взаимного расположения.

5. Увеличение на порядок чувствительности прибора по сравнению с анализатором «КОНГ-ПРИМА 4», что повышает точность измерений и расширяет возможности использования нового прибора в научных целях: для изучения процессов конденсации-испарения, особенностей существования метастабильных фаз, включая эффекты само- и принудительной консервации газовых гидратов, кристаллизации конденсированных фаз.

6. Расширенные функции сбора и хранения данных об измеренных точках росы по водной фазе и углеводородам, а также всех параметров измерительного цикла. Широкие возможности для дистанционной диагностики функционирования анализатора и его администрирования. С использованием анализаторов точек росы газа нового поколения имеются хорошие возможности для развертывания системы глобального мониторинга показателей качества газа по всей системе единого газоснабжения России.

#### Список литературы

1. Деревягин А.М., Селезнев С.В., Степанов А.Р., Агальцов А.Г. Анализатор точки росы по влаге и углеводородам «КОНГ-ПРИМА 4» // Газовая промышленность, 2002. – № 12. – С. 57-59.

2. Деревягин А.М., Селезнев С.В., Степанов А.Р. Анализатор точки росы по влаге и углеводородам «КОНГ-ПРИМА 4» // Наука и техника в газовой промышленности, 2002. – № 1. – С. 15-22.

3. Селезнев С.В., Деревягин А.М., Агальцов А.Г., Степанов А.Р., Ефимов Р.Н., Михайлов Ю.В., Губанов В.А., Истомин В.А. Поверочный комплекс «КОНГ» // Наука и техника в газовой промышленности, 2003. – № 1. – С. 43-50.

4. Деревягин А.М., Степанов А.Р., Селезнев С.В., Агальцов А.Г., Михайлов Ю.В. Экспериментальный стенд для исследования точности измерений точек росы природного газа по водной фазе и тяжелым углеводородам // «Газификация. Природный газ в качестве моторного топлива. Подготовка, переработка и использование газа»: Науч.-техн. сб. – М: ООО «ИРЦ Газпром», 2004. – № 1. – С. 14-24.

Таблица 2

#### Сравнительная характеристика приборов серии «КОНГ-ПРИМА»

| Характеристика  | «КОНГ-ПРИМА 2»                        | «КОНГ-ПРИМА 4»   | «КОНГ-ПРИМА 10»  |                  |
|---|---------------------------------------|--|--|------------------|
| Диапазон измерения ТТР, °С                                      | От минус 25 до плюс 30                | От минус 30 до плюс 30   | От минус 30 до плюс 30   |                  |
|   |                                       | От минус 50 до плюс 30   | От минус 50 до плюс 30   |                  |
| по углеводородам  | Не измеряет                           | От минус 20 до плюс 30   | От минус 30 до плюс 30   |                  |
| Пределы основной абсолютной погрешности при измерении ТТР, °С   | ±1                                    | ±0,25, ±1, ±2 <sup>(1)</sup>   | ±0,25, ±0,5, ±1 <sup>(1)</sup>   |                  |
|   |                                       |  |  | по влаге         |
|   |                                       |  |  | по углеводородам |
| Возможность измерения ТТР по углеводородам ниже ТТР по влаге    | Не измеряет                           | Нет  | Да   |                  |
| Варианты установки (подключения к магистрали)                   | Погружной (на трубопроводе)           | Да   | Да   |                  |
|   | Проточный (в обогреваемом боксе)      | Да   | Да   |                  |
|   | Переносной (периодический контроль)   | Нет  | Да   | Да               |
| Режим самоочистки зеркала                                       | Пассивный (три уровня загрязнения ЧЭ) | Комбинированный (дополнительный прогрев ЧЭ при понижении чувствительности)             | Активный (время между измерениями определяется временем полного испарения пленки конденсата на ЧЭ) |                  |
| Возможность измерения точки росы по гидратам                    | Нет                                   | Да (при определенных режимах работы)   | Да (в рабочем режиме)  |                  |
| Возможность анализа конденсации различных фракций углеводородов | Нет                                   | Нет (фиксирует углеводороды, если температура их конденсации выше точки росы по влаге) | Да (вплоть до возможности измерения нескольких точек росы по углеводородам)                        |                  |
| Оценка содержания количества метанола в газе (в перспективе)    | Нет                                   | Да (по скорости конденсации-испарения)   | Да (по скорости конденсации-испарения)   |                  |
|   |                                       | Принципиальная возможность   | Практически реализуемая возможность  |                  |