

# НАУКА И ТЕХНИКА

## В ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

1(13) 2003

“Интеллектуальная вставка” для контроля напряженно-деформированного состояния стальных трубопроводов

3-5

Гибридный метод высокоточной оптимизации сети компрессорных станций

13-16

Газопровод Россия-Турция. Техника и технологии

38-42

Газовые гидраты в XXI веке – надежда и тревога человечества

51-52



# Поверочный комплекс «КОНГ»

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

В.А. Истомина  
ООО «ВНИИГАЗ»

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 распространенные в газовой промышленности: динамические генераторы влажности «Родник-2» и «Родник-3», генератор «Полюс-1», зарубежные генераторы «Эндрюс-Хаузер» и переносной генератор «Панаметрикс». Кратко остановимся на основных принципах функционирования имеющихся технических средств поверки влагомеров.

## 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 расширении 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  $-33$  °С до  $+54$  °С.

Объемная доля влаги определяется по формуле

$$B = P_a/P_1 \cdot B_H,$$

где  $P_a$  — нормальное атмосферное давление равно  $101,3$  кПа;  $B_H$  — табличное значение насыщения водяного пара при температуре термостатирования насытителя и давлении  $101,3$  кПа (определяется по таблицам [1]).

Температура точки росы по влаге определяется по величине  $B$  с помощью тех же таблиц [1]. Таким образом, в погрешность объемной доли влаги и точки росы входит погрешность используемых справочных данных (таблиц). Для диапазона температуры от  $0$  до  $-70$  °С разработан специальный 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 Иркутске, Саратове, Москве, Надыме. К их недостаткам 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). К достоинствам этих генераторов можно отнести простоту их поверки (поверяются манометры, термометры и герметичность соединений), а также высокая точность  $\pm 0,2$  °С.

## 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 специальном сатураторе (насытителе) увлажненный газ подается в измерительную камеру поверяемого гигрометра. Для повышения точности метода измеряют давление в сатураторе и измерительной камере гигрометра. Если пере-



пад давления между камерой насыщения и гигрометром пренебрежимо мал, то температура сатуратора  $T$ , при которой устанавливается фазовое равновесие между паром и жидкой (твердой) фазой, является точкой росы  $T_p$  (либо инея  $T_{и}$ ). Если же имеется некоторый перепад давления, то парциальное давление водяного пара в измерительной камере поверяемого гигрометра уменьшается пропорционально общему давлению

$$e = E_H \cdot P_2/P_1,$$

где  $e$  — парциальное давление в измерительной камере гигрометра;  $P_1$  и  $P_2$  — общее давление в измерительной камере гигрометра и в камере насыщения соответственно;  $E_H$  — 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. В совокупности эта погрешность для типичных случаев может достигать величины около  $1^\circ\text{C}$ . Кроме того, существенное значение приобретает вопрос полноты насыщения (т.е. достижения фазового равновесия), что обеспечивается выбором конструкции сатуратора и режимом его работы. Разновидность метода, реализуемую при низкой температуре (отрицательной по Цельсию), часто называют методом вымораживания. При его реализации необходимо предусматривать специальные меры, препятствующие образованию и выносу из насытителя влаги в дисперсной фазе (т.е. «морозного тумана»). Для этого необходимо после насытителя устанавливать сепараторы или туманоуловители, при этом эти устройства должны иметь ту же температуру, что и вымораживатель. В противном случае возможно донасыщение или довымораживание газа

уловленными сепаратором (туманоуловителем) остатками влаги (инея).

Для обеспечения работы генератора требуется доукомплектовать его компрессором, средствами подготовки газа (увлажнитель, осушитель и т.п.), средствами измерения сопротивления платинового термометра (потенциометр высокой точности с образцовым резистором) и пр. 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) [5].

#### ПРИНЦИП СМЕШЕНИЯ ПОТОКОВ. ГЕНЕРАТОРЫ «ЕНДРИУС-ХАУЗЕР» И «ПАНАМЕТРИКС»

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 счет нормированного смешения потоков. Регулирование влажности осуществляется с помощью изменения расходов сухого и влажного газа. Для расчета генерируемой точки росы используются специальные таблицы для воздуха. 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 «Эндриус-Хаузер» и «Панаметрикс» имеют достаточно высокую погрешность  $\pm 1...2^\circ\text{C}$  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 ч). Генераторы, основанные на этом методе, применяются в ОАО «Газпром» (Тюменьтрансгаз, Оренбурггазпром, ВНИИГАЗ) в качестве переносных средств поверки.

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. $+0,5\%$
	Объемная доля влаги	410-150000 ppm	Отн. $\pm 1\%$
Динамический генератор влажности «Родник-3»	Относительная влажность	10-99 %	Абс. $+1,5\%$
	Объемная доля влаги	0,3-2000 ppm	Отн. $+3\%$
Генератор «Полюс»	Точка росы	$-60...+20^\circ\text{C}$	Абс. $+0,2^\circ\text{C}$

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

### ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ ПОВЕРОЧНОГО КОМПЛЕКСА «КОНГ»

Проанализировав 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 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 установления фазового равновесия над жидкой или твердой фазами. Метод фазового равновесия является абсолютным методом получения заданной точки росы. Комплекс создан с учетом имеющихся плюсов и минусов данного метода (см. обсуждение выше). В поверочном комплексе «КОНГ» насытитель и рабочая камера конструктивно объединены, что исключает влияние перепада давления. Небольшие размеры рабочей камеры (около 0,2 см<sup>3</sup>) обеспечивают наступление термодинамического равновесия (время выхода на установившийся режим) в кратчайшие сроки (~10 мин). У других генераторов это время колеблется от 2 до 4 ч.

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 др.). В поверочном комплексе «КОНГ» применен ряд оригинальных отечественных разработок, которые позволяют проводить поверку в стационарном режиме без принудительного расхода газа через рабочую камеру. Благодаря этому отсутствуют методические трудности, связанные с динамическим режимом (однако динамический режим также предусмотрен и, при необходимости, может быть использован поверочным комплексом). Исключается опасность выброса жидкости (тумана из насытителя), что присуще генераторам серии «Полус». Основные технические характеристики разработанного поверочного комплекса «КОНГ» приведены ниже.

### Технические характеристики поверочного комплекса «КОНГ»

Диапазон воспроизведения точки росы, °С	от -50 до +30
Пределы допускаемой абсолютной погрешности при воспроизведении точки росы, не более, °С	±0,5
Время выхода на режим воспроизведения заданного значения точки росы, не более, мин	30
Напряжение питания термогигростата, В	от 187 до 242 В, (50±2 Гц)
Потребляемая мощность термогигростата, не более, Вт	30
Габаритные размеры термогигростата, не более, мм	120x200x250
Масса термогигростата, не более, кг	3
Условия эксплуатации:	
температура окружающего воздуха, °С	20±5
относительная влажность воздуха, %	80
атмосферное давление, кПа	от 84 до 106,7 (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 воздуха или азота, фильтров, компрессоров и др.) делает работу с комплексом более простой и удобной. В табл. 2 приведены сравнительные технические характеристики поверочного комплекса «КОНГ» и переносного генератора МГ-101 фирмы «Панаметрикс».

### КОНСТРУКЦИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСА

Поверочный комплекс «КОНГ» представляет собой генератор влажностояния, основанный на принципе насыщения-вымораживания, предназначенный для поверки и калибровки преобразователей точки росы серии «КОНГ-Прима» (преобразователей точки росы «КОНГ-Прима-2», анализаторов точки росы по влаге и углеводородам



Сравнение технических характеристик генератора MG-101 и поверочного комплекса «КОНГ»

Технические характеристики	Поверочный комплекс «КОНГ»	Генератор MG-101
Диапазон задания точки росы, °С	-50 ... +30	-60 ... +20
Погрешность задания точки росы, °С	± 0,5	± 1
Время выхода на режим, мин	10	120
Габаритные размеры, мм	120x200x250	1200x1250x680
Дополнительное (необходимое) оборудование	В комплект поставки входит Ноутбук либо любой компьютер типа IBMPC 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)

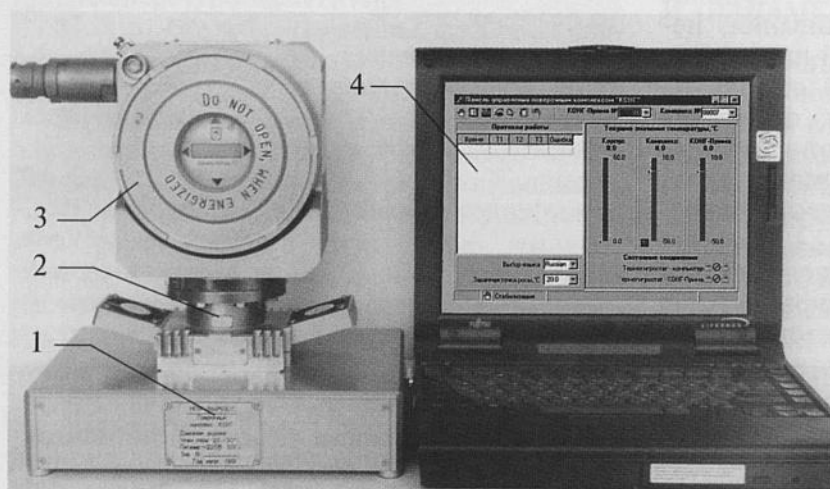


Рис. 1. Поверочный комплекс «КОНГ» в процессе калибровки преобразователя температуры точки росы «КОНГ-Прима-2»: 1 — согласующий электронный блок, 2 — термогигростат, 3 — преобразователь точки росы серии «КОНГ-Прима», 4 — управляющий компьютер

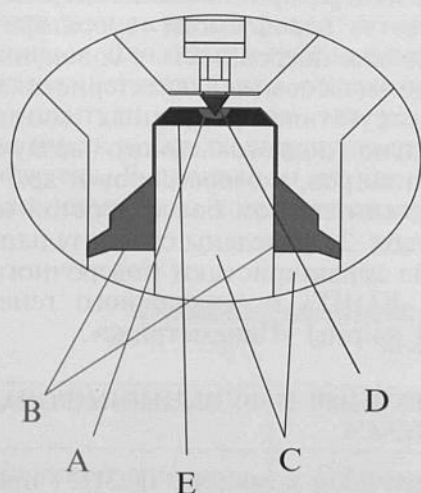


Рис. 2. Схема измерительной камеры термогигростата: А — измерительная камера, В — вход и выход исследуемого газа, С — фторопластовый колпак и цилиндр, D — чувствительный элемент (ЧЭ) преобразователя (анализатора) точек росы серии «КОНГ-Прима», E — зеркало поверочного комплекса «КОНГ»

«КОНГ-Прима-4» и др.). Конструктивно рассматриваемый комплекс (рис. 1) состоит из термогигростата, согласующего электронного блока и управляющего персонального компьютера со специальным программным обеспечением.

Основным элементом термогигростата является конденсационное зеркало (см. рис. 2, поз. E), температура которого регулируется при помощи охлаждающего модуля, построенного на базе трехкаскадного «элемента Плетье». Для того чтобы конденсационное зеркало стало сатуратором (насытителем), перед установкой преобразователей серии

«КОНГ-Прима» зеркало охлаждается до температуры  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (для конденсации паров воды из окружающего воздуха) и выдерживается в течение 5 мин (для образования устойчивой пленки воды/льда). Причем можно задавать температуру и ниже (для ускорения фазового перехода сконденсированной влаги). Конструкции чувствительного элемента (ЧЭ) преобразователя (анализатора) точек росы серии «КОНГ-Прима» и зеркала поверочного комплекса «КОНГ» таковы, что при монтаже образуется замкнутый объем, причем чувствительный элемент преобразователя «КОНГ-Прима» (см. рис. 2, поз. D) находится в 1,5 мм от зеркала (сатуратора) комплекса (см. рис. 2, поз. E). Таким образом образуется измерительная ячейка (см. рис. 2, поз. А), влажностояние в которой зависит от температуры зеркала (сатуратора) и от фазового состояния жидкости на зеркале комплекса. Следовательно, изменяя температуру зеркала, изменяем точку росы газовой среды в измерительной ячейке.

При измерении точки росы газа преобразователем (анализатором) серии «КОНГ-Прима» происходит конденсация паров воды на ЧЭ. Количество водной фазы, которое конденсируется на ЧЭ при проведении измерения, практически не может исказить влагосодержание анализируемой газовой среды в измерительной ячейке комплекса. Это показывают как результаты измерений точки росы по льду, так и простые оценочные

расчеты. Наличие на зеркале поворачиваемого комплекса жидкости толщиной ~1 мм обеспечивает ЧЭ 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 расчет, следующие: площадь зеркала комплекса 50 мм<sup>2</sup>, среднее значение толщины пленки льда на зеркале 1 мм, площадь чувствительного элемента 0,25 мм<sup>2</sup>, толщина пленки влаги на ЧЭ, необходимая для падения фотосигнала, составляет 13,5 мкм). Очевидно, что столь незначительное количество влаги, необходимое для проведения измерений преобразователем (анализатором) «КОНГ-Прима», не может повлиять на влагосодержание газовой среды внутри измерительной ячейки.

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

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 воспроизведе-

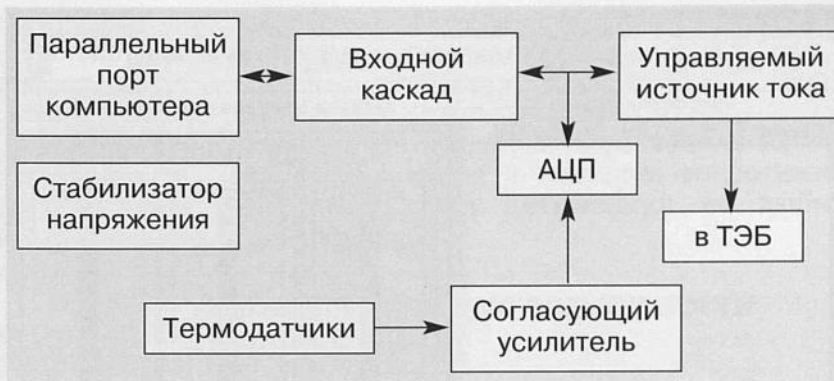


Рис. 3. Функциональная схема согласующего электронного блока

дения величины влагосостояния позволяют работать с комплексом при давлении до 10 МПа. При необходимости, может быть разработан поворачиваемый комплекс и на большие давления (хотя в этом в газовой промышленности практически нет необходимости).

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

Согласующий электронный блок комплекса, функциональная схема которого приведена ниже на рис. 3, встроен в корпус поворачиваемого 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.

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 цифровой преобразователь (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 цифровой преобразователь (АЦП). В его состав входят 12-разрядный 8-канальный АЦП и интегральный источник опорного напряжения. Переключение каналов изме-



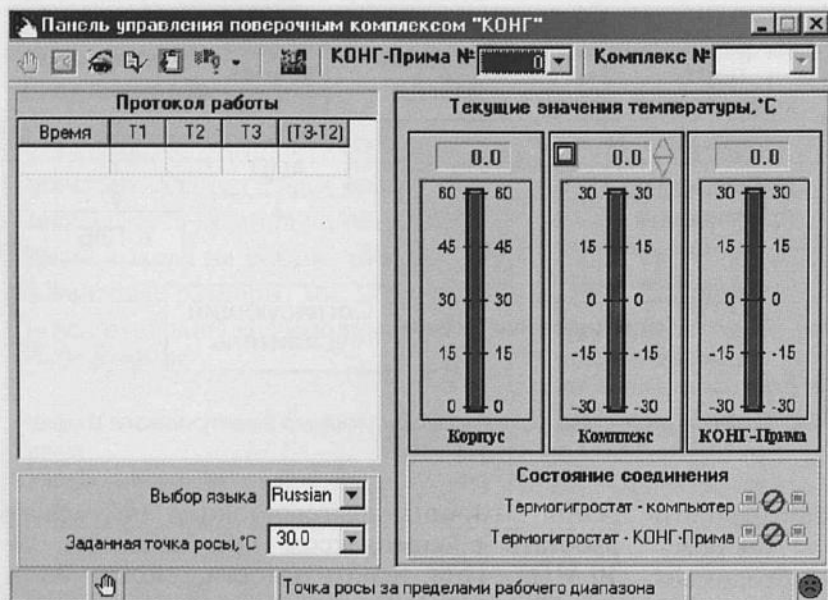


Рис. 4. Панель управления поверочным комплексом «КОНГ»

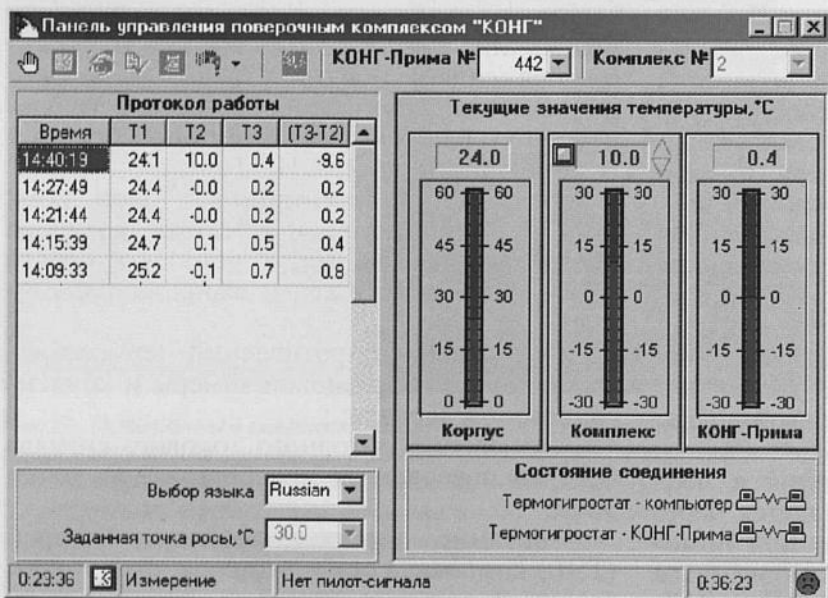


Рис. 5. Вид заполненного окна «Протокол работы»

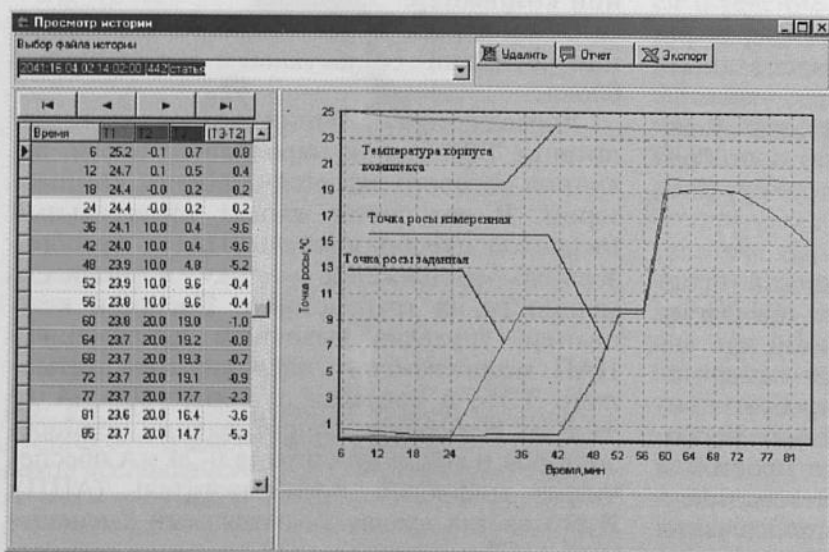


Рис. 6. Внешний вид панели файла истории

рений и съем результатов измерений осуществляются внешним компьютером. Согласующий усилитель преобразует сопротивление терморезисторов в напряжение, величина которого не превышает входной диапазон АЦП при изменении температуры от  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . 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 научно-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.

После запуска программы на экране управляющего компьютера появится панель управления поверочным комплексом «КОНГ». Внешний вид панели управления поверочным комплексом «КОНГ» приведен ниже на рис. 4.

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 рис. 5 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 «Поверочного 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.

Автоматический режим работы очень удобен тем, что позволяет запрограммировать комплекс на долгий режим работы, в течение 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 (рис. 6), 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.

По графику можно увидеть, что измеренная точка росы отличалась от заданной (красная и синяя линии) в диапазоне +20 °С.

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 необходимости можно сформировать отчет для вывода на печать, в котором указаны сведения о приборе и поверочном комплексе, результаты поверки и график погрешности.

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 необходимость 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 обработ-

ка данных производится уже средствами этой программы.

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

## ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ КОМПЛЕКСА

Ввиду своих функциональных особенностей использование поверочного комплекса «КОНГ» не исчерпывается проверкой метрологических характеристик измерителей семейства «КОНГ-Прима». Отсутствие расходных материалов и возможность с легкостью задавать температуру точки росы в широком диапазоне позволило использовать поверочный комплекс «КОНГ» и 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 следующие:

- 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 °С, 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 от минус 20 до минус 40 °С.

Во всех вышеуказанных экспериментах речь идет о возможности прецизионно определять разность  $\Delta T$  между температурой  $T_{\text{mir}}$  зеркала комплекса, на которое наносится исследуемая конденсированная среда (вода, лед, газовые гидраты, водные растворы солей и органических веществ), и измеряемой анализатором типа «КОНГ-Прима-4» температурой начала конденсации пленки переохлажденной воды на ЧЭ анализатора (при этом по существу детектируется влагосодержание газовой фазы в измерительной ячейке). Из экспериментально определенной температурной



зависимости  $\Delta T = f(T_{\text{mir}})$  могут быть рассчитаны термодинамические функции исследуемой среды, нанесенной на зеркало комплекса. Кроме того, в режиме он-лайн могут исследоваться кинетические закономерности фазовых превращений на ЧЭ анализатора (например, динамика фазовых переходов «переохлажденная вода — лед», «переохлажденная вода — газовый гидрат»). Таким образом, разработан новый физический прибор для изучения фазовых равновесий разнообразных водных фаз. Первые полученные результаты частично доложены на международных конференциях [3, 4] и будут детально рассмотрены в последующих публикациях. Ниже приведена принципиальная схема экспериментальной исследовательской установки на базе поверочного комплекса «КОНГ» и анализатора точки росы по влаге и углеводородам «КОНГ-Прима-4» (рис. 7). В данный момент установка используется НПФ «Вымпел» для дальнейшего изучения проблем, так или иначе возникающих при измерении точки росы и контроле качества подготовки газа.

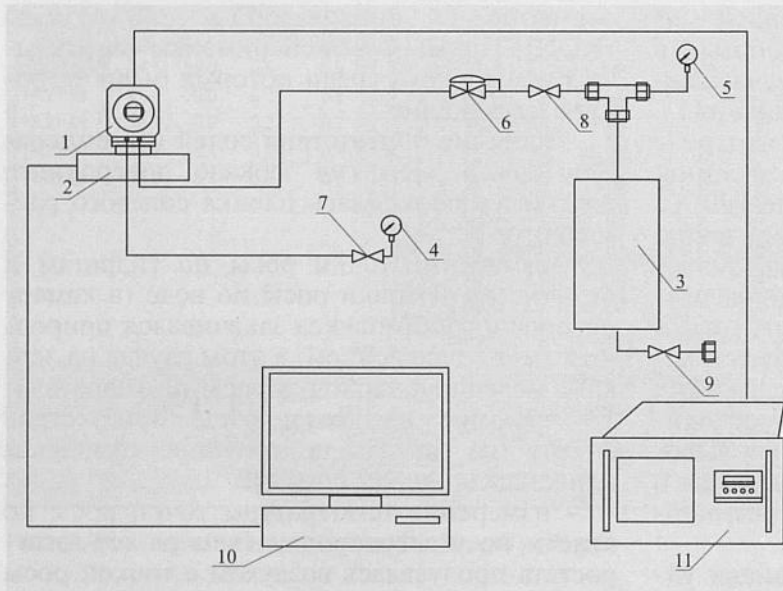


Рис. 7. Схема экспериментальной установки для изучения фазовых равновесий:

1 — анализатор точки росы по влаге и углеводородам «КОНГ-Прима-4»; 2 — термогигростат поверочного комплекса «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; 10 — компьютер с программным обеспечением для управления поверочным комплексом «КОНГ»; 11 — управляющий блок анализатора точки росы по влаге и углеводородам «КОНГ-Прима-4»

## 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 име-

ющимися 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 производится. Выпущено 50 комплексов, основными потребителями являются организации, широко применяющие преобразователи температуры точки росы серии «КОНГ-Прима» (главным образом предприятия газовой и нефтегазовой отраслей). Комплексы нашли применение не только в нашей стране, но также пользуются спросом в странах Западной Европы.

Установлены также возможности использования поверочного комплекса «КОНГ» не только для проверки средств измерения точек росы газа приборами КОНГ-Прима 2 и 4, но и в научно-исследовательских целях. Все это делает комплекс надежным и удобным инструментом для многих организаций, занимающихся научно-исследовательской работой и так или иначе связанных с проблемами контроля качества газа.

## Список литературы

1. Вукалович М.П., Ривкин С.П., Александров А.А. Таблицы тепло-физических свойств воды и водяного пара, Издательство Стандартов, М., 1969.

2. Соков И.А. Метрологическое обеспечение гигрометрии. Обз. инф. Сер. «Информационное обеспечение общесоюзных научно-технических программ». Вып. 1. НМ.: ВНИИКИ, 1987.

3. Derevyagin A.M., Seleznev S.V., Istomin V.A. A novel approach for studying two phase equilibria of gas hydrates / VIII International Seminar on Inclusion Compounds (ISIC-8), Warsaw (Po-powo), Poland, Sept 105, 2001, Program and Abstracts, p. T8-04. Тезисы доклада на Международном семинаре по соединениям включения в Польше (Варшава, Попово, сентябрь, 2001).

4. Istomin V.A., Derevyagin A.M., Seleznev S.V., A dew point technique for experimental study of gas hydrate systems/ Proceedings of the 4th International Conference on Gas Hydrates, Yokogama (Japan), May 19-23, 2002, p. 439-443. (Доклад на 4-й Международной конференции по газовым гидратам, Йокогама, Япония, май, 2002).