

Заводская лаборатория физико-химических измерений и криогенной термометрии

А. П. БЕЛОШИЦКИЙ, В. Б. МАЙЛЕР, В. П. ТОЛСТИХИН, А. Н. ЯКУШЕВ,
Ю. К. ВОРОНИН, А. Э. МАХМУДОВ

ОАО «Ангарская нефтехимическая компания», Ангарск, Россия,
e-mail: BeloshitskiiAP@anhk.rosneft.ru

Приведен перечень основных рабочих эталонов заводской лаборатории физико-химических измерений и криогенной термометрии. Описаны принципы действия и физические законы, на которых они основаны. Представлены формулы расчета значений измеряемых физических величин дозируемых компонентов в поверочной газовой смеси и основные метрологические характеристики эталонов.

Ключевые слова: рабочий эталон, поверочная газовая смесь, объемная доля компонента, массовая концентрация компонента, диапазон измерений, метод двух давлений.

A list of basic working standards of industrial laboratory of physical-chemical measurements and cryogenic thermometry is given. The operating principles and physical laws on which the standards are based are described. The calculation formulas for the measured physical values of dosed components in the verification gas mixture and the basic metrological characteristics of standards are presented.

Key words: working standard, verification gas mixture, component volume fraction, component mass concentration, measuring range, standard error, two pressures method.

В ОАО «Ангарская нефтехимическая компания» создана лаборатория физико-химических измерений и криогенной термометрии. Необходимость ее создания обусловлена географической удаленностью предприятия от метрологических центров Москвы и Санкт-Петербурга, большим количеством эксплуатируемых (около 70000 единиц) средств измерений (СИ), из них более 3000 газоанализаторов и сигнализаторов и около 1000 низкотемпературных термометров.

Основой температурных измерений в лаборатории является криогенная система «ПУЛЬСАР», которая предназначена для задания, получения, поддержания (стабилизации) и измерения требуемых температур в рабочем объеме термостата [1]. Система используется при проверке низкотемпературных термометров (криогенная область), применяемых для контроля качества готовой продукции нефтехимических производств (например, для контроля температуры замерзания и вязкости дизельных топлив, масел и др.), и термостатирования других объектов.

Конструкция системы блочно-модульная, состоящая из аппаратной стойки, термостатов — жидкостного ТСЖ-10, воздушного ТСВ-190, нулевого ТН-12, парового ТП-5, устройства подачи хладагента УПХ-72 и криогенных сосудов СК-16. В аппаратной стойке установлены: компаратор напряжений Р3003, блоки терморегулятора, сопряжения и резервирования, цифровой термометр F-250, стабилизатор напряжения постоянного тока, измерительная катушка электрического сопротивления и др. Рабочие диапазоны термостатирования: $-110 \dots +20$ °С для жидкостного термостата ТСЖ-10, $-190 \dots +20$ °С для воздушного термостата ТСВ-190. В качестве хладагента используется жидкий азот из криогенных сосудов (сосуды Дьюара). Рабочая жидкость термостата — этиловый спирт.

При разработке системы особое внимание уделено сокращению времени выхода на заданный режим и продлению срока непрерывной работы в нем. С этой целью в конст-

рукцию системы введен блок сопряжения и резервирования [2], обеспечивающий возможность работы в указанных режимах. Для уменьшения теплоемкости ванна термостата изготовлена из тонколистовой стали 0,3 мм с минимальным объемом (рабочим — 6 дм³, общим — 8,7 дм³, глубиной $h = 360$ мм). Одновременно в кассету загружается 24—49 термометров в зависимости от их конструкции и размеров.

Реализация режимов форсирования и резервирования осуществляется одновременным подключением двух сосудов Дьюара к теплообменнику термостата. В режиме форсирования жидкий азот по команде терморегулятора подается в теплообменник сразу из двух сосудов, увеличивая скорость охлаждения системы. После достижения заданной температуры система переходит в режим регулирования. При этом жидкий азот в теплообменник поступает из одного сосуда. Второй сосуд переходит в режим ожидания (резерв). Во время работы системы в режиме регулирования уровень азота в сосуде понижается и при достижении минимального уровня по команде блока резервирования происходит автоматическое включение в работу резервного сосуда. На передней панели блока включается световой сигнал о необходимости замены пустого сосуда. После замены подключенный заполненный сосуд переходит в резерв, при этом режим регулирования не нарушается. Таким образом, замена сосудов, заданный режим поддерживается в течение требуемого времени.

Принятые конструктивные меры обеспечили хорошие динамические характеристики системы «Пульсар». Время t установления заданной температуры термостатирования в жидкостном термостате при понижении от $+20$ до -70 °С составляет не более 45 — 50 мин. Сравним: для термостата 915LW [3] $t = 180$ мин ($T = -65$ °С, рабочий объем 3,14 дм³, $h = 400$ мм), для криостата КР-40-2 [4] $t = 240$ мин ($T = -40$ °С, $h = 300$ мм). Температура термостатирования измеряется

цифровым термометром F-250 с первичным преобразователем ЭТС-100 2-го разряда. Пределы допускаемой абсолютной погрешности термометра $\pm 0,03$ °C.

Комплекс СИ, используемый в установке при градуировке платиновых термометров сопротивления (ТСП), обеспечивает разброс результатов измерений в точке плавления льда на уровне $\pm 0,0025$ °C [5]. С целью градуировки прецизионных ТСП непосредственно в криогенной области разработана методика измерений температуры кипения азота. Проведен анализ источников и оценка составляющих погрешности этой методики. Рассчитанные границы погрешности результата измерения температуры кипения азота составляют $\pm 0,01$ °C (при измерении атмосферного давления барометром DPI 740).

Одной из наиболее сложных является задача создания базы для метрологического обеспечения ремонтируемых и поверяемых газоанализаторов и сигнализаторов. Разнородность физических и химических свойств измеряемых компонентов и их многообразие обуславливают необходимость наличия в этой базе соответствующих многочисленных рабочих эталонов и других СИ.

Для метрологического обеспечения газоанализаторов в лаборатории применяют государственные стандартные образцы (ГСО) поверочных газовых смесей (ПГС) в баллонах, установку «Галактика», генераторы для разбавления ГСО ПГС нулевым поверочным газом до требуемой массовой концентрации компонента (МКК) или объемной доли компонента (ОДК), методики измерений.

Блочная-модульная конструкция системы «Пульсар» позволила создать на ее базе установку «Галактика» с новыми функциональными возможностями — получение ПГС с заданными характеристиками дозируемых компонентов при помощи абсолютных термодинамических генераторов. На

основании положительных результатов испытаний утвержден тип установки «Галактика» (Госреестр СИ, № 44085-10).

Установка «Галактика» предназначена для получения ПГС водяного пара, гексана, аммиака и хлора в азоте или воздухе при поверке гигрометров и газоанализаторов, а также для поверки термометров. Установка состоит из системы термостатирования «Пульсар», генераторов ПГС н-гексана «Сириус», аммиака «Антарес», хлора «Марс», генератора влажного газа «Север», рабочей камеры для датчиков относительной влажности в жидкостном термостате типа U-7, средств поверки термометров. Размеры термостатируемых узлов пневматических блоков названных генераторов согласованы с рабочим объемом термостата ТСЖ-10 и при необходимости любой из них можно установить в термостат. Работа входящих в установку генераторов ПГС «Север» и «Сириус» основана на абсолютном методе двух давлений [6], генераторов «Антарес» и «Марс» — на методе двух давлений с последующим разбавлением исходной ПГС воздухом с помощью турбулентных дросселей с надкритическим режимом истечения газа [7 — 8].

Установка «Галактика» соответствует требованиям к рабочим эталонам единиц содержания компонентов в газовых средах 1-го разряда при получении ПГС гексана и 2-го разряда при получении ПГС аммиака и хлора по стандарту [9], к рабочим эталонам единиц влажности газов 1-го разряда по [10], к рабочим эталонам единиц температуры 2-го разряда по [11].

Основные метрологические характеристики установки «Галактика» представлены в таблице.

Генератор влажного газа «Север» предназначен для поверки гигрометров практически любых типов. Принцип его действия заключается в насыщении газа влагой в насытителе тарельчатого типа [12] при повышенном давлении и за-

Основные метрологические характеристики установки «Галактика»

Агрегаты в составе установки	Получаемый продукт	Нормируемая величина	Диапазон получаемых значений	Пределы допускаемой погрешности
«Пульсар»	Регулируемая стабильная температура	Температура в термостате, °C	-110 ... +20	Задание $\pm 0,5$ °C Нестабильность $\pm 0,05$ °C
«Пульсар», средства поверки термометров	Поверка термометров	Температура в термостате, °C	-110 ... +20	Измерение $\pm 0,03$ °C
«Пульсар», «Север», рабочая камера	ПГС водяного пара в азоте или воздухе	Объемная доля влаги, млн ⁻¹	0,3 — 20000	Относительная $\pm 1,5$ %
		Относительная влажность, %	10 — 98	Абсолютная $\pm 0,8$ %
«Пульсар», «Сириус»	ПГС н-гексана в воздухе или азоте	Объемная доля, млн ⁻¹	200 — 34000	Относительная $\pm 2,5$ %
		Массовая концентрация, г/м ³	0,7 — 120	
«Пульсар», «Антарес»	ПГС аммиака в воздухе или азоте	Объемная доля, млн ⁻¹	5 — 70000	Относительная ± 5 %
		Массовая концентрация, г/м ³	0,003 — 52	
«Пульсар», «Марс»	ПГС хлора в воздухе или азоте	Объемная доля, млн ⁻¹	0,5 — 2000	Относительная ± 6 %
		Массовая концентрация, г/м ³	0,001 — 6	

данной стабильной температуре с последующим изотермическим понижением до рабочего давления преобразователей влажности (метод двух давлений). Из анализа источников погрешности следует, что наибольший вклад в суммарную погрешность генератора вносит погрешность измерения температуры насытителя, обусловленная, в свою очередь, погрешностью используемого термометра и погрешностью, вызываемой колебаниями температуры термостата при двухпозиционном законе ее регулирования.

Естественно, что даже при использовании высокоточного термометра F-250, позволяющего проводить отсчет показаний до сотых долей градуса [3], из-за колебаний температуры в термостате невозможно измерить температуру с такой точностью. Для повышения стабильности температуры рабочей жидкости в термостате и, соответственно, насытителя в системе термостатирования генератора применены модернизированные устройства подачи хладагента. В их корпусе параллельно основному каналу, работающему через запорный клапан, управляемый терморегулятором, выполнен дополнительный канал, в который встроен дроссель для регулирования расхода хладагента [13]. Хладагент из сосуда Дьюара через дополнительный канал непрерывно поступает в теплообменник термостата, испаряется в нем, компенсируя большую часть тепла (до 90 %), поступающего из окружающей среды в термостат. Таким образом уменьшается скорость изменения температуры рабочей жидкости. Регулируя расход хладагента, можно устанавливать сколь угодно малую скорость изменения температуры. Преобразователь термометра отслеживает медленное изменение температуры. При этом обеспечивается возможность измерения температуры насытителя с высокой точностью.

Время выхода генератора на установившийся режим получения ПГС с объемной долей влаги $0,3 \text{ млн}^{-1}$ не превышает 50 мин. Объемная доля влаги (ОДВ) рассчитывается по формуле

$$\text{ОДВ} = \rho k p_0 f / (\rho_n + p_a),$$

где ρ — равновесное давление паров воды для температуры насытителя [14]; $k = 9,869 \text{ млн}^{-1} \cdot \text{Па}^{-1}$ — коэффициент размерности; $p_0 = 101,325 \text{ кПа}$ — нормальное атмосферное давление; f — повышающий коэффициент, характеризующий отличие давления насыщенных паров воды в присутствии газа-носителя при заданном общем давлении (парциальное давление) от давления паров в вакууме (равновесное давление) при одной и той же температуре (указана в руководстве по эксплуатации установки «Галактика»); ρ_n — избыточное давление газа в насытителе; p_a — атмосферное давление.

Для поверки гигрометров относительной влажности изготовлена отдельная проточная рабочая камера для их датчиков, термостатируемая в дополнительном термостате. Температуры термостатирования насытителя и рабочей камеры устанавливают равными и на $1 - 2^\circ \text{C}$ ниже температуры окружающего воздуха для предотвращения конденсации влаги в трубопроводе, соединяющем насытитель и рабочую камеру. После выхода термостатов на заданный режим, рассчитывают относительную влажность φ ПГС в рабочей камере в соответствии с объединенным методом двух давлений и двух температур:

$$\varphi = \{E_n(\rho_a + p_k) / [E_k(\rho_a + p_n)]\} \cdot 100,$$

где E_n, E_k — давление насыщенного водяного пара при температуре насытителя и рабочей камеры, соответственно [15]; p_k — избыточное давление ПГС в рабочей камере.

Генератор «Сириус» предназначен для получения ПГС н-гексана и представляет особый практический интерес. Использование стационарного генератора в лаборатории сокращает количество применяемых ГСО ПГС в баллонах, значительно упрощает и удешевляет эксплуатацию газоанализаторов и сигнализаторов дозврывоопасных концентраций углеводородов. Впервые в газоаналитической практике ПГС гексана получают методом двух давлений в термодинамическом генераторе, а ОДК или МКК в получаемой ПГС рассчитывают с высокой точностью по следующим формулам:

$$\text{ОДК} = \rho k p_0 f / (\rho_n + p_a);$$

$$\text{МКК} = \rho k p_0 f M_u / [(\rho_n + p_a) V_m],$$

где ρ — давление насыщенных паров дозируемого компонента при температуре насытителя, для н-гексана его значение приведено в [16]; M_u — молярная масса дозируемого компонента; V_m — молярный объем компонента при температуре 20°C и атмосферном давлении $101,325 \text{ кПа}$, для идеального газа $V_m = 24,05 \text{ дм}^3/\text{моль}$.

Время выхода генератора на установившийся режим получения ПГС с объемной долей гексана $0,248\%$ (20% нижнего концентрационного предела распространения (НКПР), первый порог срабатывания сигнализации) не превышает 20 мин.

Генераторы «Антарес» и «Марс» предназначены для получения ПГС аммиака и хлора [8, 12]. Насытитель генератора «Марс», выполненный в виде вертикального набора сообщающихся тарелок, отличается от насытителя генератора «Север» тем, что его выходные коммуникации и тарелки изготовлены из фторопласта, а весь набор тарелок заключен в стальной корпус для обеспечения надежной работы при повышенном давлении газа (до 1 МПа) [17].

Массовую концентрацию и объемную долю дозируемого компонента в ПГС на выходе генератора при температуре 20°C и нормальном атмосферном давлении рассчитывают как

$$\text{МКК} = \rho_0 \text{ОДК}_n f M_u Q_c / [(\rho_n + p_a) (Q_c + Q_p) V_m]; \quad (1)$$

$$\text{ОДК} = \rho_0 \text{ОДК}_n f Q_c / [(\rho_n + p_a) (Q_c + Q_p)], \quad (2)$$

где ОДК_n — условная объемная доля компонента при насыщении для температуры насытителя; Q_c — расход исходной ПГС через насытитель при установленном абсолютном давлении $(\rho_n + p_a)$ газа; Q_p — расход газа-разбавителя.

Генератор-разбавитель 667ГР-03 М применяется для получения смеси с микроконцентрацией дозируемого компонента (уровень предельно допустимой концентрации), используемой далее для градуировки и поверки газоанализаторов контроля чистоты атмосферного воздуха и воздуха рабочей зоны. Дозирование исходной ПГС в генераторе осуществляется дросселями ламинарного типа, предварительно отградуированными по чистому азоту и воздуху. Набором

комбинаций из 11 пневмотумблеров (и соответствующих им дросселей) задается требуемое значение коэффициента разбавления исходной ПГС нулевым газом в диапазоне от 10 до 3000. В качестве исходной смеси допускается использование ГСО ПГС с объемной долей дозируемого компонента не более 1 % [18]. В случае превышения указанной ОДК, погрешность генератора не нормируется. Поэтому для градуировки и поверки газоанализаторов и сигнализаторов дозрывоопасных концентраций в диапазоне измерений средних и больших концентраций углеводородов с помощью ГСО ПГС в баллонах разработан и изготовлен *генератор-разбавитель «Вихрь»* (Госреестр СИ, № 36212-07) [7, 19]. Принцип его действия основан на динамическом смешивании исходной ПГС с известной ОДК и нулевого газа — разбавителя. Объемная доля дозируемого компонента в получаемой смеси определяется соотношением объемных расходов смешиваемых потоков. Расходы исходной ПГС и газа-разбавителя регулируют турбулентными дросселями. Для определения расходов в конструкцию генератора введен сосуд и пневмотумблеры управления потоками. Рабочий диапазон коэффициента разбавления 1,05 — 100. Давление ПГС в сосуде измеряют манометрами.

Параметры ПГС на выходе генератора вычисляют по формулам

$$\text{МКК}_{\text{ПГС}} = \text{МКК}_i t_p / (t_p + t_n);$$

$$\text{ОДК}_{\text{ПГС}} = \text{ОДК}_i t_p / (t_p + t_n),$$

где МКК_i , ОДК_i — массовая концентрация и объемная доля дозируемого компонента в исходной ПГС; t_n , t_p — время, в течение которого давление в сосуде изменилось на заданную величину Δp при измерении расходов исходной ПГС и газа-разбавителя.

По достигаемой точности воспроизведения ОДК (МКК) в получаемой ПГС генератор «Вихрь» соответствует рабочим эталонам 1-го разряда по [9] при использовании в качестве исходной ПГС стандартных образцов состава газовых смесей 0-го разряда. Применение данного генератора позволяет сократить номенклатуру закупаемых смесей, упростить градуировку и поверку газоанализаторов.

При эксплуатации установки «Галактика» на практике были выявлены некоторые неудобства при ремонте, наладке и градуировке СИ: относительно большие масса и габаритные размеры, обусловленные универсальностью; сравнительно долгое время запуска установки, в том числе затраты времени на доставку жидкого азота от разделительной установки воздуха до лаборатории. С целью повышения оперативности наладочных работ СИ изготовлены рабочие эталоны «Бриз» и «Метеор», а также генераторы «Сатурн» и «Корунд» — дублиеры генераторов, входящих в установку «Галактика». Основное их достоинство — быстрый запуск, достаточно 10 — 15 мин, чтобы получить необходимую ПГС, при этом жидкий азот не требуется.

Генератор влажного газа переносный «Бриз» (Госреестр СИ № 46114-10) [20] представляет собой лабораторное переносное непрерывно действующее динамическое устройство для получения ПГС с заданными значениями ОДВ в воздухе, азоте, аргоне и др. Диапазон воспроизводимой генератором ОДВ ПГС составляет 2 — 1000 млн⁻¹, пределы

допускаемой приведенной погрешности генератора при измерении ОДВ ПГС на его выходе встроенным гигрометром ± 2 и ± 4 %.

Объемную долю влаги ПГС рассчитывают по формуле

$$\text{ОДВ} = k I_3 T / Q p_a,$$

где $k = 19,39$ — коэффициент, обусловленный выбором единиц физических величин; I_3 — сила тока электролиза кулонометрического чувствительного элемента (КЧЭ); T — температура окружающего воздуха; Q — расход газа через КЧЭ для условий измерения.

По метрологическим характеристикам генератор «Бриз» соответствует требованиям [10] к рабочим эталонам единиц влажности газов 1-го разряда.

Генератор «Метеор» (Госреестр СИ, № 45544-10) [8, 21] представляет собой лабораторное непрерывно действующее динамическое устройство для получения ПГС н-гексана и воздуха с заданными значениями ОДК в диапазоне 70 — 15000 млн⁻¹ или МКК — в диапазоне 0,25 — 53,64 г/м³. Пределы допускаемой относительной погрешности генератора $\pm 2,0$ %. Расчет МКК и ОДК в ПГС на выходе генератора проводится по (1), (2). По метрологическим характеристикам генератор соответствует требованиям [9] к рабочим эталонам единиц содержания компонентов в газовых средах 1-го разряда.

Генератор «Сатурн» [22] — динамическое устройство для получения ПГС аммиака с воздухом с заданными значениями ОДК = 14 ... 707 млн⁻¹ или МКК = 10 ... 500 мг/м³. Пределы допускаемой относительной погрешности генератора ± 4 и ± 7 % в зависимости от заданного режима работы.

Формулы для расчета МКК и ОДК на выходе генератора имеют вид

$$\text{МКК} = p_0 \text{МКК}_{T_n} Q_c / [(p_n + p_a) (Q_c + Q_p)];$$

$$\text{ОДК} = p_0 \text{ОДК}_{T_n} Q_c / [(p_n + p_a) (Q_c + Q_p)],$$

где МКК_{T_n} , ОДК_{T_n} — массовая концентрация и объемная доля аммиака в газовой фазе насытителя при нормальном давлении и измеренной температуре насытителя T_n определяются по графику зависимости МКК_{T_n} (ОДК_{T_n}) от температуры насытителя, который строят по экспериментальным данным после заполнения сорбента аммиаком, а затем аналитически находят искомые параметры.

Генератор «Корунд» предназначен для получения в динамическом режиме ПГС хлора с заданной МКК (ОДК) в диапазоне 0,2 — 10 мг/м³. Аттестация ПГС проводится по аналитической методике измерений. Принцип действия генератора заключается в получении газообразного хлора путем контролируемого электролиза хлористой соли и его последующего разбавления дозируемым потоком воздуха.

При реализации методики измерений в аналитической практике широкое распространение получили счетчики газа барабанного типа (ГСБ). Для поверки таких счетчиков изготовлена *установка дозирования объемов воздуха «Поток»* (Госреестр СИ, № 45140-10) [23]. Особенность ГСБ — жидкостный затвор на их входе. При разработке установки «По-

ток» учтено, что при проходе через этот затвор поток воздуха увлажняется до 100 % и принимает температуру жидкости. При этом объем дозы воздуха увеличивается на объем паров воды, перешедших в поток, а также объем потока изменяется за счет изменения его температуры. Погрешность установки из-за увлажнения потока составляет 0,5 — 2,19 % (при температуре воды 15 — 25 °С), вследствие изменения температуры — 0,34 % на каждый градус. С целью исключения названных погрешностей в конструкцию установки введены система термостатирования мерного бака установки, теплообменник и насытитель (увлажнитель). Относительная погрешность установки при этом составляет 0,2 %.

По метрологическим характеристикам установка «Поток» соответствует требованиям [24] к рабочим эталонам единиц объемного расхода газа 1-го разряда.

Заключение. Разработка конструкции, изготовление и применение в генераторах дросселей турбулентного типа значительно упростили получение ПГС аммиака и особенно ПГС хлора. При этом повысилась точность генераторов и улучшились их динамические характеристики.

Применение «политики двойных эталонов» значительно ускорило проведение наладочных работ и градуировку СИ после ремонта. Комплекс рабочих эталонов позволяет непосредственно в заводских условиях проводить наладку и градуировку практически всех имеющихся в компании газоанализаторов, сигнализаторов и низкотемпературных ТСП, сравнительно просто и оперативно решать вопросы их поверки, проводить поверку практически всех типов стеклянных термометров.

Л и т е р а т у р а

1. Белошицкий А. П., Толстихин В. П. Опыт разработки метрологических установок в ОАО «АНХК» // Нефтепереработка и нефтехимия. 2003. № 8. С. 64—68.
2. А. с. 1018111 СССР. Устройство для термостатирования / В. С. Барабаш и др. // Открытия. Изобретения. 1983. № 18.
3. Isotech [Офиц. сайт]. <http://www.isotechna.ru> (дата обращения: 05.05.2012).
4. Никоненко В. А. Разработка и выпуск эталонных и рабочих контактных и бесконтактных средств измерения температуры // Нефтепереработка и нефтехимия. 2006. № 8. С. 33—37.
5. Белошицкий А. П. Использование температуры кипения азота при градуировки термометров // Измерительная техника. 2002. № 9. С. 33—36; Beloshitskii A. P. The Use of the Boiling Point of Nitrogen to Calibrate Thermometers // Measurement Techniques. 2002. V. 45. N 9. P. 943—947.
6. Белошицкий А. П. Универсальный динамический генератор парогазовых смесей // Приборы и системы управления. 1994. № 5. С. 36—39.

7. Залманзон Л. А. Проточные элементы пневматических приборов. М.: Изд-во АН наук СССР, 1961.

8. Пат. 2363945 РФ. Устройство для градуировки и поверки / А. П. Белошицкий // Изобретения. Полезные модели. 2009. № 22.

9. ГОСТ 8.578—2008. ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений содержания компонентов в газовых средах.

10. ГОСТ 8.547—2009. ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений влажности газов.

11. ГОСТ 8.558—2009. ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений температуры

12. А. с. 890350 СССР. Устройство для калибровки и поверки гигрометров / А. П. Белошицкий, М. Д. Симулик // Бюл. изобрет. 1981. № 46.

13. Пат. 2245565 РФ. Устройство для калибровки и поверки гигрометров / А. П. Белошицкий // Изобретения. Полезные модели. 2005. № 4.

14. Беспалов Д. П. и др. Психрометрические таблицы. 2-е изд. Л.: Гидрометеиздат, 1981. С. 237—238.

15. Вукалович М. П. и др. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара. М.: Изд-во стандартов, 1969.

16. ГСССД 90—85. Н-гексан. Термодинамические свойства при температурах 180 ... 630 К и давлениях 0,1 ... 100 МПа.

17. Пат. 2275661 РФ. Устройство для градуировки и поверки газоанализаторов / А. П. Белошицкий // Изобретения. Полезные модели. 2006. № 12.

18. ТУ 25-7557.0029—88. Генераторы ГР-03 м.

19. А. с. 1474604 СССР. Устройство для регулирования соотношения расходов газов / Г. Е. Плаксин и др. // Открытия. Изобретения. 1989. № 15.

20. Пат. 2008704 РФ. Устройство для градуировки и поверки гигрометров / А. П. Белошицкий, М. Д. Симулик // Изобретения. 1994. № 4.

21. Пат. 2365948 РФ. Устройство для градуировки и поверки газоанализаторов / А. П. Белошицкий // Изобретения. Полезные модели. 2009. № 24.

22. Пат. 2290635 РФ. Способ получения поверочных газовых смесей для градуировки и поверки газоанализаторов и устройство для его осуществления / А. П. Белошицкий // Изобретение. Полезные модели. 2006. № 36.

23. Пат. 2169909 РФ. Устройство для градуировки и поверки счетчиков газа / А. П. Белошицкий // Изобретения. Полезные модели. 2001. № 18.

24. ГОСТ 8.618—2006. ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений объемного и массового расходов газа.

Дата принятия 05.07.2012 г.