

# ГАЗОВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

№ 4

847 | 2023

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ, ИЗДАЕТСЯ С 1956 г.,  
ВХОДИТ В ПЕРЕЧЕНЬ РЕЦЕНЗИРУЕМЫХ НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ ВАК



42 ИНТЕРАКТИВНО-  
ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ  
ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ПЕРЕПОДГОТОВКА ПО БУРОВОМУ  
СУПЕРВАЙЗИНГУ

60 РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ  
ТЕХНОЛОГИИ СОХРАНЕНИЯ ГАЗА, РАНЕЕ  
СТРАВЛИВАЕМОГО В АТМОСФЕРУ  
ПРИ ПЛАНОВО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ  
И РЕМОНТНЫХ РАБОТАХ

72 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ГОТОВНОСТЬ  
РОССИЙСКИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ  
ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЙ  
ДЛЯ МАЛОТОННАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА  
СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА

# РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ В ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС УРМЦ-10000 НОВОГО АЛГОРИТМА КАЛИБРОВКИ (ПОВЕРКИ) РАСХОДОМЕРОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

УДК [53.089.68::622.691]+006.91

**А.В. Дьяченко**, Челябинское ЛПУМГ – филиал ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург» (Челябинск, Россия), A.Dyachenko@ekaterinburg-tr.gazprom.ru

**Е.А. Стенюшкина**, Челябинское ЛПУМГ – филиал ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург», E.Stenyushkina@ekaterinburg-tr.gazprom.ru

**И.А. Прудников**, ПАО «Газпром» (Санкт-Петербург, Россия), I.Prudnikov@adm.gazprom.ru

**В.В. Васильев**, к.т.н., ПАО «Газпром», V.V.Vasilyev@adm.gazprom.ru

**А.В. Жданов**, ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург» (Екатеринбург, Россия), A.Zhdanov@ekaterinburg-tr.gazprom.ru

**А.И. Сабиров**, ООО НПП «ГКС» (Казань, Россия), airat@nppgks.com

**Д.Р. Садриев**, ООО НПП «ГКС», dinar.sadriev@nppgks.com

Приведена информация о модернизации программы «АРМ Калибровщика» рабочего эталона единицы объемного расхода газа 1-го разряда в диапазоне значений от 32 до 13 000 м<sup>3</sup>/ч, в состав которого входит Установка поверочная для счетчиков газа УРМЦ-10000 Уральского регионального метрологического центра.

Представлены дополнительные требования для разработки новой программы «АРМ Калибровщика», способные обеспечить расширение динамического диапазона расхода рабочего эталона и функцию калибровки (поверки) двух расходомеров, установленных друг за другом в потоке газа (по аналогии с международной газоизмерительной станцией «Портовая»). Отмечена возможность проведения контроля метрологических характеристик всех применяемых счетчиков-расходомеров, входящих в состав рабочего эталона расхода. Показан состав, основные задачи и функции программно-технического комплекса «АРМ Калибровщика» при внедрении в Уральский региональный метрологический центр.

В заключение поставлена перспективная задача создания комплекса «АРМ Калибровщика», который объединит два рабочих эталона единицы объемного расхода газа 1-го разряда на базе единого алгоритма калибровки (поверки) с возможностью хранения больших объемов информации в течение длительного времени.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ЕДИНАЯ СИСТЕМА ГАЗОСНАБЖЕНИЯ, ЕВРОКУБОМЕТР, МЕТРОЛОГИЯ, РАБОЧИЙ ЭТАЛОН, ИЗМЕРЕНИЕ ОБЪЕМНОГО РАСХОДА ПРИРОДНОГО ГАЗА, ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕРВИЧНЫЙ ЭТАЛОН.

Уральский региональный метрологический центр (УРМЦ) расположен в Челябинской обл. и является структурным подразделением Челябинского ЛПУМГ – филиала ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург». Технико-экономическое обоснование, технический и рабочий проекты первой очереди УРМЦ разрабатывались на основании ISO 17089-1:2010 [1]. Строительство началось весной 1999 г. В качестве генерального заказчика выступило ООО «Уралтрансгаз» (сейчас – ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург»). Генеральным проектировщиком и подрядчиком стало Управление «Энергогазремонт» – филиал ООО «Уралтрансгаз». Строительство проводилось в зоне действующего магистрального газопровода Челябинск – Петровск на базе газоизмерительной станции «Долгодеревенское». Диапазон номинальных

диаметров калибруемых (поверяемых) расходомеров находился в пределах от 80 до 400 мм.

В марте 2004 г. распоряжением заместителя Председателя Правления ОАО «Газпром» А.Г. Ананенкова был введен в эксплуатацию первый пусковой комплекс УРМЦ для испытаний и поверки расходомеров газа в рабочих условиях Челябинского ЛПУМГ на базе газоизмерительной станции «Долгодеревенское».

Второй пусковой комплекс УРМЦ возведен в рамках «Программы создания метрологических центров в ОАО «Газпром», утвержденной 19.02.2004 Председателем Правления ОАО «Газпром» А.Б. Миллером. Проект был выполнен ОАО «Гипрогазцентр» в 2009 г. Заказчиком строительства выступало ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург».

**A.V. Dyachenko**, Chelyabinsk Line Production Department for Main Gas Pipelines – branch of Gazprom transgaz Yekaterinburg LLC (Chelyabinsk, Russia), A.Dyachenko@ekaterinburg-tr.gazprom.ru

**E.A. Stenyushkina**, Chelyabinsk Line Production Department for Main Gas Pipelines – branch of Gazprom transgaz Yekaterinburg LLC, E.Stenyushkina@ekaterinburg-tr.gazprom.ru

**I.A. Prudnikov**, PJSC Gazprom (Saint Petersburg, Russia), I.Prudnikov@adm.gazprom.ru

**V.V. Vasilyev**, PhD in Engineering, PJSC Gazprom, V.V.Vasilyev@adm.gazprom.ru

**A.V. Zhdanov**, Gazprom transgaz Yekaterinburg LLC (Yekaterinburg, Russia), A.Zhdanov@ekaterinburg-tr.gazprom.ru

**A.I. Sabirov**, RPE “GKS” (Kazan, Russia), airat@nppgks.com

**D.R. Sadriev**, RPE “GKS”, dinar.sadriev@nppgks.com

### Development and implementation of a new algorithm for calibration (verification) of high pressure natural gas flow meters in the URMС-10000 software and hardware complex

The article provides brief information on upgrading the Calibrator Automated Workstation of the 1st grade operational standard for gas volume flow rate unit in the value range of 32 to 13 000 m<sup>3</sup>/h which includes the URMС-10000 Calibration Unit for Gas Meters of the Ural Regional Metrology Center.

It also presents additional requirements for the development of a new Calibrator Automated Workstation software allowing for the extension of the dynamic flow range of the operational standard and the calibration (verification) function of two flow meters installed one behind the other in the gas flow (similar to the Portovaya International Gas Metering Station). It is noted that the metrological performance of all flow meters within an operational flow standard can be verified. The composition, main tasks, and functions of the Calibrator Automated Workstation software and hardware complex when implemented at the Ural Regional Metrology Center are shown.

The conclusion sets a prospective task of creating a Calibrator Automated Workstation that would combine two 1st grade operational standards for gas volume flow rate unit based on a single calibration (verification) algorithm capable of storing large amounts of information for long periods of time.

**KEYWORDS:** UNIFIED GAS SUPPLY SYSTEM, EURO CUBIC METER, METROLOGY, OPERATIONAL STANDARD, MEASURING THE VOLUMETRIC FLOW RATE OF NATURAL GAS, STATE PRIMARY STANDARD.

Ввод второго пускового комплекса в эксплуатацию в 2011 г. значительно расширил функциональные возможности УРМЦ, что позволило проводить калибровку (поверку) расходомеров от DN 500 до DN 1000 в диапазоне давлений 5,0–7,4 МПа.

В УРМЦ внедрена и функционирует система менеджмента качества. ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург» в лице центра имеет следующие виды аккредитации:

- в национальной системе в области обеспечения единства измерений, что дает право выполнения работ (оказания услуг) по поверке средств измерений объемного расхода газа в диапазоне от 32 до 70 000 м<sup>3</sup>/ч. Уникальный номер записи в реестре аккредитованных лиц – 1465;

- в Системе калибровки средств измерений ПАО «Газпром» (Аттестат аккредитации № 090007 до 12.11.2023), что дает право проведения калибровки средств измерений объемного расхода газа, давления, температурных и электротехнических.

### СТРУКТУРА И СОСТАВ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНАЛЬНОГО МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ЦЕНТРА

Уральский региональный метрологический центр входит в состав линейной части магистрального газопровода Челябинск – Петровск. Транспортировка природного газа с месторождений Западной Сибири в сторону Республики Башкортостан проводит-

ся по трубопроводу DN 1400 с давлением от 5,0 до 7,4 МПа. Максимальный проектный расход газа УРМЦ составляет 70 000 м<sup>3</sup>/ч при рабочих условиях.

В составе УРМЦ – два аттестованных рабочих эталона (рис. 1) в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений объемного и массового расходов газа [2]:

- рабочий эталон единицы объемного расхода газа 1-го разряда в диапазоне значений от 32 до 13 000 м<sup>3</sup>/ч, который включает Установку поверочную для счетчиков газа УРМЦ-10000;

- рабочий эталон единицы объемного расхода газа 1-го разряда в диапазоне значений от 500 до 70 000 м<sup>3</sup>/ч с Установкой поверочной для счетчиков газа УРМЦ-70000.

Основные метрологические и технические характеристики обоих эталонов представлены в табл. 1.

Устройство и принцип работы эталонов и входящих в их состав поверочных установок были детально описаны в статьях [3, 4].

### МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ УСТАНОВКИ ПОВЕРОЧНОЙ ДЛЯ СЧЕТЧИКОВ ГАЗА УРМЦ-10000

Проектные решения поверочной установки были реализованы в 2004 г. и ориентированы на выполнение поверки турбинных счетчиков природного

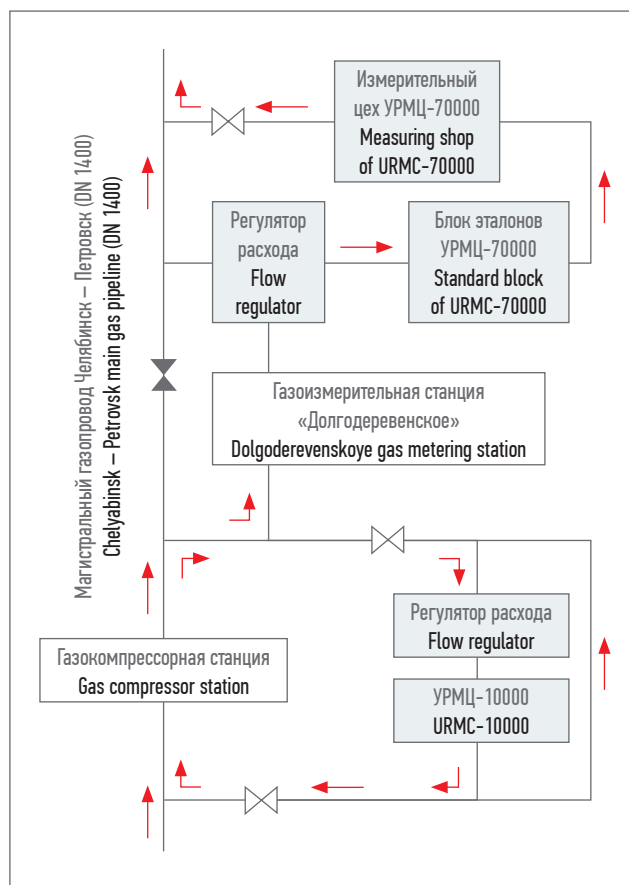


Рис. 1. Блок-схема Уральского регионального метрологического центра  
Fig. 1. Block diagram of the Ural Regional Metrology Center

газа, эксплуатируемых в ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург». Эти решения объясняют установку поверяемых расходомеров и счетчиков на одном измерительном трубопроводе с эталонными турбинными счетчиками одинакового диаметра. Диапазон расхода эталонного турбинного счетчика перекрывает весь интервал поверяемого прибора. В случае установки поверяемого расходомера или счетчика с большим диапазоном расхода, чем эталонный, нарушаются требования поверочных методик. Диапазон расхода эталонного турбинного счетчика составляет 1 : 20, а диапазоны расхода современных ультразвуковых расходомеров достигают 1 : 200.

Диапазоны расхода эталонов и поверяемых расходомеров приведены в табл. 2.

Для расширения динамического диапазона расходов и исключения несоответствия методикам поверки авторским коллективом Челябинского ЛПУМГ была предложена врезка сборной конструкции на выходном коллекторе DN 400 установки, которая состоит из семи фланцевых прямых участков DN 400 разных размеров, типов фланцев (ANSI, ГОСТ) и комплектов переходов DN 400 – DN 300 и DN 300 – DN 200. При этом общая длина конструкции позволяет проводить работы для расходомеров

исполнения PN 80 и выше как в одиночном варианте, так и друг за другом с требуемыми длинами прямых участков. Дополнительно на выходной коллектор был смонтирован компенсатор длины (Instromet International N.V.).

Проектирование проводилось силами Инженерно-технического центра ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург». Все работы по монтажу выполнялись хозяйственным способом. Сборная конструкция изготавливалась на производственной базе ООО НПП «ГКС». Сварочно-слесарные работы проводились специалистами Управления аварийно-восстановительных работ №1 ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург».

Описанные решения позволили увеличить диапазоны расхода для поверяемых расходомеров DN 400, DN 300 и DN 200 путем параллельного включения в работу соответствующих эталонных турбинных счетчиков. Таким образом, был преодолен динамический барьер и сняты ограничения по диапазону расхода для ультразвуковых расходомеров, установленные методиками поверки.

Технологические схемы УРМЦ-10000 до и после модернизации представлены на рис. 2а и 2б соответственно.

Выбор схемы подачи газа на установку и конфигурация измерительного трубопровода (последовательность установки катушек, длины прямых участков и т.д.) определяются в каждом конкретном случае методикой поверки (калибровки) или программой и методикой исследований, диапазоном и спецификой метода измерений расходомера.

Технологическая схема первой очереди предусматривает подачу газа с выхода работающей компрессорной станции «Долгодеревенское» на вход УРМЦ и далее через измерительный трубопровод на вход станции.

В то же время исключение барьера в вопросе расширения динамического расхода природного газа предполагает не только физическое включение нескольких измерительных трубопроводов, но и одновременную обработку данных о расходе, давлении, температуре. Эти возможности не были реализованы в эксплуатируемом программно-техническом комплексе (ПТК) «АРМ Калибровщика» УРМЦ-10000, а потом вопрос его модернизации стал актуальной задачей для коллектива ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург».

#### АЛГОРИТМ КАЛИБРОВКИ РАСХОДОМЕРОВ В РАБОЧИХ УСЛОВИЯХ

Первым этапом в решении задачи модернизации ПТК «АРМ Калибровщика» УРМЦ-10000 стало изучение алгоритма калибровки. Действующая управляющая компьютерная система SVC (ПТК) обеспечивает сбор и обработку данных от измерительных преобразователей, формирование и распечатку калибровочного сертификата для калибруемого средства измере-

Таблица 1. Основные метрологические и технические характеристики рабочих эталонов Уральского регионального метрологического центра  
Table 1. Main metrological and technical characteristics of the operational standards of the Ural Regional Metrology Center

Характеристика Characteristic	Значение Value	
		Рабочий эталон единицы объемного расхода газа 1-го разряда в диапазоне значений 32–13 000 м³/ч 1st grade operational standard for gas volume flow rate unit in the value range of 32 to 13 000 m³/h
Регистрационный номер Registration number	3.7.EEE.0008.2021	3.7.EEE.0009.2021
Диапазон измерений объемного расхода, м³/ч Volume flow measurement range, m³/h	32–13 000	500–70 000
Рабочая среда Process medium	Природный газ из магистрального газопровода по ГОСТ 5542–2014 [11] Natural gas from the main gas pipeline according to GOST 5542–2014 [11]	
Давление рабочей среды, МПа Process medium pressure, MPa	5,0–7,4	
Температура рабочей среды, °С Process medium temperature, °C	5–25	
Основной эталонный блок Main reference unit	Набор из четырех эталонных турбинных счетчиков типа SM–RI–X–L (Instromet International N.V.) Set of four reference turbine meters of SM–RI–X–L type (Instromet International N.V.)	Набор из семи эталонных турбинных счетчиков типа SM–RI–X–L (Elster–Instromet B.V.) Set of seven reference turbine meters of SM–RI–X–L type (Elster–Instromet B.V.)
Доверительные границы относительной погрешности при доверительной вероятности $P = 0,95$ , %, не более Maximum confidence error at confidence coefficient of $P = 0.95$ , %	±0,25	
Точность задания требуемого расхода, % Accuracy of required flow rate setting, %	±3	
Количество одновременно поверяемых средств измерений, ед., не более Maximum number of measuring instruments to be calibrated simultaneously	2	
Количество одновременно используемых эталонов, ед., не более Maximum number of standards to be used simultaneously	2	7
Диаметры измерительных трубопроводов, мм Diameters of measuring pipes, mm	80, 100, 150, 200, 300, 400	500, 600, 700, 1000
Типы используемых фланцев для калибруемых средств измерений Types of flanges used for instruments to be calibrated	В соответствии с российскими ГОСТами, а также нормативно-техническими документами Американского национального института стандартов (ANSI) According to Russian GOSTs as well as regulations of the American National Standards Institute (ANSI)	

ния (СИ) с указанием точности измерений в различных точках диапазона расхода. Принцип работы системы базируется на сравнении показаний измеренного значения количества природного газа, прошедшего через калибруемое СИ, с показаниями эталонного счетчика (блока эталонов), скорректированными с учетом разницы по давлению и температуре в местах установки калибруемого СИ и эталона.

Обработка сигналов с эталонных турбинных счетчиков, датчиков температуры и давления, потокового

хроматографа и калибруемых расходомеров (счетчиков) природного газа проводится:

- на УРМЦ–10000 мастер-компьютером Advantech с управляющей системы SVC (Instromet International N.V.) с использованием программного обеспечения ISS (далее – ПТК «АРМ Калибровщика» УРМЦ–10000);
- на УРМЦ–70000 мастер-компьютером Advantech с управляющей системы SVC (Elster–Instromet B.V.) с использованием программного обеспечения ISB (далее – ПТК «АРМ Калибровщика» УРМЦ–70000).



Таблица 2. Диапазоны расхода эталонов и поверяемых расходомеров  
Table 2. Flow rate ranges of standards and flow meters to be calibrated

DN	Расходомер-счетчик SM-RI-X-L SM-RI-X-L flow rate meter	Фактические характеристики Actual characteristics			Требуемые характеристики Required characteristics		
		Расход, м³/ч Flow rate, m³/h		Динамический диапазон Dynamic range	Расход, м³/ч Flow rate, m³/h		Динамический диапазон Dynamic range
		min	max		min	max	
80	G400	32	650	1 : 20	5,0	750	1 : 150
100	G400	32	650	1 : 20	5,0	1200	1 : 200
150	G400	32	650	1 : 20	12,5	2500	1 : 200
200	G1000	80	1600	1 : 20	22,5	4500	1 : 200
300	G2500	200	4000	1 : 20	50,0	10 000	1 : 200
400	G6500	500	10 000	1 : 20	50,0	10 000	1 : 200

Разработчик ПТК «АРМ Калибровщика» УРМЦ-10000 и УРМЦ-70000 – компания Elster-Instromet. Проработка технических решений ПТК не соответствует современным требованиям. Срок эксплуатации ПТК «АРМ Калибровщика» УРМЦ-10000 превышает 16 лет, что делает экономически не обоснованным проведение текущего ремонта. В то же время срок эксплуатации ПТК «АРМ Калибровщика» УРМЦ-70000 составляет девять лет, и в ближайшее время нет оснований для планового капитального ремонта. Однако необходим детальный анализ используемого алгоритма обработки результатов измерений и калибровки расходомеров (счетчиков) в целях выявления несоответствий актуальным требованиям к методикам калибровки (поверки) расходомеров природного газа.

Процесс калибровки на УРМЦ основан на документах [2, 5–11] и включает шесть основных шагов:

- опробование и стабилизацию расхода, температуры, давления природного газа на эталоне и старт измерительного цикла;
- сбор, запись и обработку параметров полного измерительного цикла;
- изменение ряда значений расхода природного газа;
- оценку результатов относительных отклонений измерений расходов эталона и калибруемого расходомера для всех полных измерительных циклов. При превышении допустимых значений погрешности производится расчет поправочного коэффициента для расходомера;
- проверку (верификацию) результатов калибровки;
- оформление результатов калибровки.

**Шаг 1. Опробование и стабилизация расхода и температуры природного газа на рабочем эталоне и старт измерительного цикла**

Опробование проводят после подачи газа через калибруемый расходомер (далее – MUT) и стабилизации его расхода. Значение выбирают в пределах от 30 до 60 % рабочего диапазона измерений рас-

ходомера. Условия стабилизации параметров газа за один измерительный цикл:

- изменение объемного расхода газа при рабочих условиях – не более 3 % за 100 с;
- изменение абсолютного давления газа в эталонном турбинном счетчике и MUT – не более 0,2 % за 100 с;
- изменение температуры газа в эталонном расходомере (счетчике) и MUT – не более 0,25 °С за 100 с.

В течение полного измерительного цикла температурный дрейф газа не должен превышать 2 °С.

Ряд диапазонов расходов MUT, при которых проводится полный измерительный цикл, обычно принимается следующим: 5, 10, 20, 40, 60, 80 и 100 % от  $Q_{max}$ , где  $Q_{max}$  – максимальный расход на калибруемом расходомере (паспортные данные расходомера), м³/ч. При этом количество циклов измерений должно быть не менее пяти с длительностью не более 300 с. Программно-технический комплекс «АРМ Калибровщика» УРМЦ-70000 позволяет проводить процедуру калибровки в трех режимах: «Ручной», «Полуавтоматический», «Автоматический».

**Шаг 2. Сбор, запись и обработка параметров полного измерительного цикла (не менее пяти циклов)**

После режима «Старт» ПТК «АРМ Калибровщика» УРМЦ-70000 проводит сбор и обработку информации от всех датчиков температуры и давления с эталонного турбинного счетчика и калибруемого расходомера, также рассчитываются средние значения за цикл измерений.

Особая роль в работе ПТК отводится контроллеру cRio – мастер-счетчику импульсов для расчета итогового значения эталонного расхода и расхода калибруемых расходомеров. Далее вычисляются значения объемов газа за цикл измерений. Можно выделить несколько ключевых этапов:

- расчет коэффициентов сжимаемости с помощью модуля AGA-8 по данным компонентного состава газа для рабочих условий эталонного турбинного

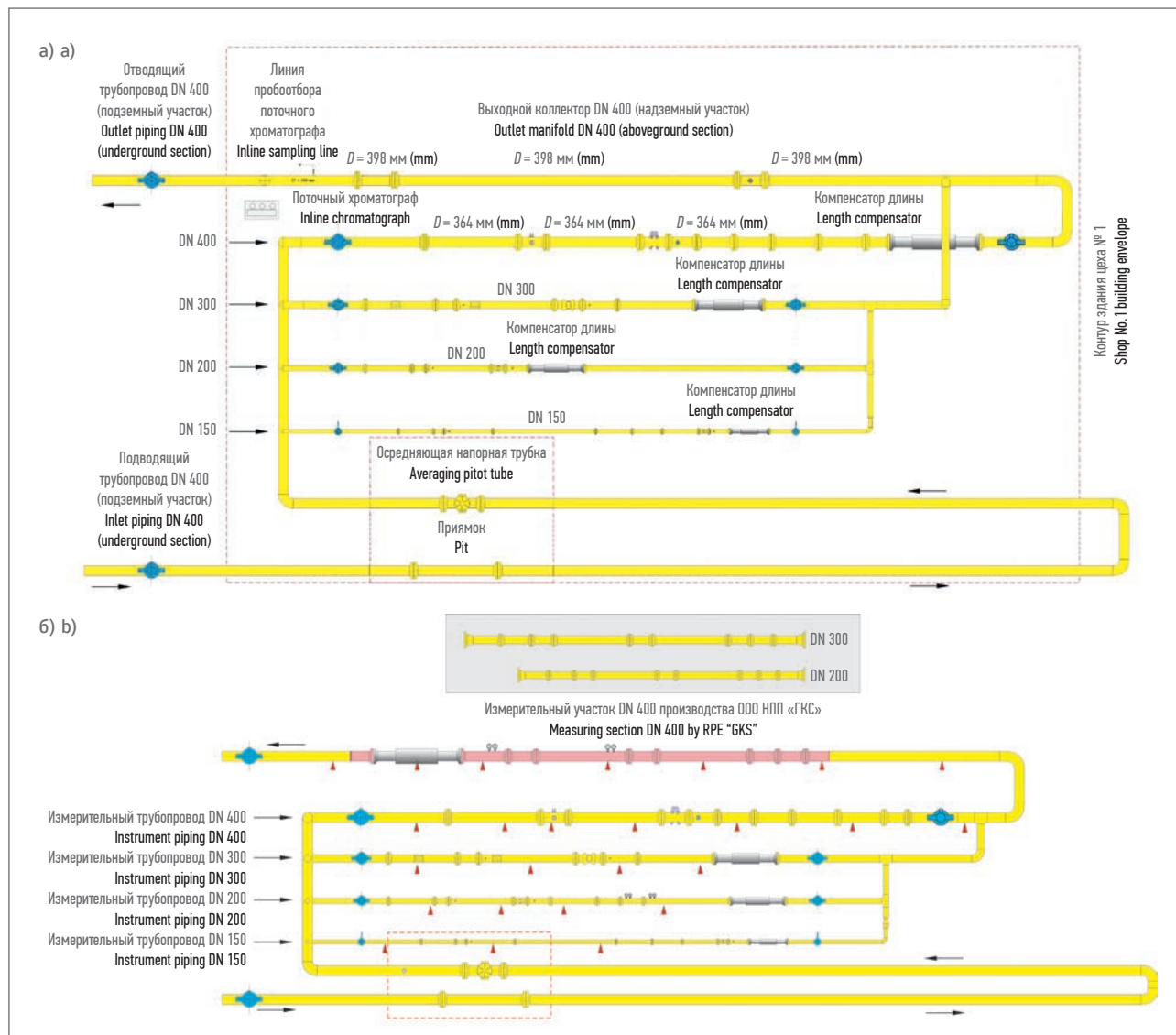


Рис. 2. Принципиальная технологическая схема УРМЦ-10000: а) до модернизации; б) после модернизации, где  $D$  – диаметр  
Fig. 2. Process flow diagram of URMC-10000: a) before upgrading; b) after upgrading, where  $D$  is diameter

счетчика и MUT (режим калибровки позволяет проводить сбор и обработку только с одного выбранного измерительного трубопровода);

- расчет значений расходов с эталонного турбинного счетчика и MUT путем деления измеренных объемов природного газа на время измерения (программа также позволяет использовать значение мгновенных расходов калибруемого расходомера без пересчета от объемных единиц величин);
- корректировка значений эталонного расхода с помощью поправочных таблиц;
- корректировка эталонного расхода с учетом рабочих условий (давление и температура) калибруемого расходомера с помощью рассчитанных ранее коэффициентов сжимаемости от средних значений температуры и давления измерительного цикла;
- расчет отклонений между эталонным и калибровочным расходами измерительного цикла.

Указанная последовательность работ проводится не менее пяти раз. При выполнении полного измерительного цикла выполняется расчет среднеквадратического отклонения результатов измерений. При положительных итогах ПТК «АРМ Калибровщика» УРМЦ-70000 переходит на следующий режим по расходу через рабочий эталон.

**Шаг 3. Изменение ряда значений расхода природного газа на калибруемом расходомере**

В режиме «Стоп калибровка» проводится изменение значения расхода природного газа через MUT. Выбранный расход стабилизируется, и далее проводят измерения. По окончании полного цикла, состоящего из ряда расходов (см. Шаг 1), все измеренные и рассчитанные данные сводятся в таблицу закладки SampleDataBase.

**Шаг 4. Оценка результатов относительных отклонений измерений расходов эталонного расходомера**

(счетчика) и калибруемого расходомера всех полных измерительных циклов

При превышении допустимых значений погрешности производится расчет поправочного коэффициента (взвешенной по расходу средней погрешности) для расходомера.

По результатам рассчитанных относительных отклонений измерений эталона и MUT формируется график погрешности калибровки в закладке CalibratinReport по следующей формуле:

$$\text{Error}_{\text{MUT}} = \frac{Q_{b \text{ MUT}} - Q_{c \text{ ref}}}{Q_{c \text{ ref}}} 100 \%, \quad (1)$$

где  $Q_{b \text{ MUT}}$  – относительное отклонение измерений расходов MUT;  $Q_{c \text{ ref}}$  – относительное отклонение измерений расходов эталонного расходомера.

В случае, если  $\text{Error}_{\text{MUT}} > 0,5$ , проводится расчет поправочного коэффициента для расходомера (средневзвешенной по расходу средней погрешности) по следующей формуле:

$$\text{Average} (\text{Error}_{\text{MUT}}) = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{Q_{c \text{ MUT}}}{Q_{\text{max}}} \text{Error}_{\text{MUT}}}{\sum_{j=1}^n \frac{Q_{c \text{ MUT}}}{Q_{\text{max}}}}, \quad (2)$$

где  $Q_{c \text{ MUT}}$  – скорректированный к рабочим условиям (давление и температура) расход MUT.

Рассчитанное значение поправочного коэффициента используется при корректировке  $Q_{c \text{ ref}}$  на  $Q_{c \text{ ref}(j)}$  (скорректированный расход с учетом поправочных коэффициентов, рассчитанный как средневзвешенное значение расхода) и повторном расчете относительных отклонений измерений эталонного расходомера и MUT и калибруемого расходомера, формируется график погрешности измерений в закладке CalibratinReport по следующей формуле:

$$\text{Error}_{\text{adjusted MUT}} = \frac{Q_{b \text{ MUT}(j)} - Q_{c \text{ ref}(j)}}{Q_{c \text{ ref}(j)}} 100 \%. \quad (3)$$

В случае отсутствия превышения значения 0,5 поправочный коэффициент вводится в память MUT.

**Шаг 5. Проверка (верификация) результатов калибровки**

Далее организация, эксплуатирующая MUT, принимает решение о выполнении процедуры верификации. Иными словами, проводится «натурная проверка» на всех режимах значений расхода MUT для оценки правильности расчета поправочного коэффициента. Порядок выполнения работы – в соответствии с формулами (1) – (3).

**Шаг 6. Оформление результатов калибровки**

Оформление результатов калибровки проводится автоматически с учетом введенных ранее данных расходомера (марка, серийный номер, диаметр, коэффициент счетчика и др.), а также процедуры калибровки. Лист из закладки CalibratinReport распечатывается и подписывается ответственным лицом.

Ряд зарубежных европейских метрологических центров периодически проводит между собой круговые сличения эталонов, что позволяет формировать единый Еврокубометр природного газа высокого давления. Принятие Еврокубометра минимизирует неопределенность измерений расхода (количества) газа, а его передача с помощью СИ приводит к снижению разбаланса в системах газопроводов и количества взаимных претензий между поставщиками и потребителями, в том числе при экспортно-импортных операциях.

Таким образом, достоверное измерение расхода (количества) – наиболее значимый фактор при расчете баланса газа единой системы газоснабжения. Европейские страны ведут постоянную работу по снижению неопределенности измерений, приближают условия калибровки к реальным условиям эксплуатации расходомеров, создавая для этого расходоизмерительные центры с возможностью выполнения калибровки в широких диапазонах расходов и давлений.

## ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ВНЕДРЕНИЯ НОВОГО АЛГОРИТМА КАЛИБРОВКИ

Первым шагом разработки и внедрения нового алгоритма калибровки (поверки) стало создание методики «Обеспечение единства измерений. Ультразвуковые расходомеры и счетчики газа (29-001-2019)» Корпоративным научно-техническим центром ООО «Газпром ВНИИГАЗ» в рамках Системы калибровки средств измерений ПАО «Газпром» с применением наилучших мировых практик [2, 5–11].

На втором шаге был проведен сравнительный анализ действующего алгоритма калибровки (поверки) ПТК «АРМ Калибровщика» УРМЦ-70000 и новой методики. В результате выявлены:

- принципиальные отличия в методе расчета коэффициента сжимаемости природного газа для эталонного турбинного счетчика и MUT;
- отсутствие формул коррекции для расчета изменения объема газа, заключенного между эталонным и калибруемым расходомером, при условии возникновения перепада давления при различных режимах расхода.

Третьим шагом стали решение задачи реализации процедуры суммирования значений расхода (объема) всех эталонных расходомеров природного газа и одновременная калибровка двух расходомеров, которые установлены на выходном коллекторе DN 400 в сборной конструкции. Такая опция появилась в рамках выполнения проектных работ Инженерно-техническим центром ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург» совместно с ООО НПП «ГКС».

Преимущество сборной конструкции на выходном коллекторе DN 400 состоит в практической реализации расширения динамического диапазона рабочего эталона единицы объемного рас-





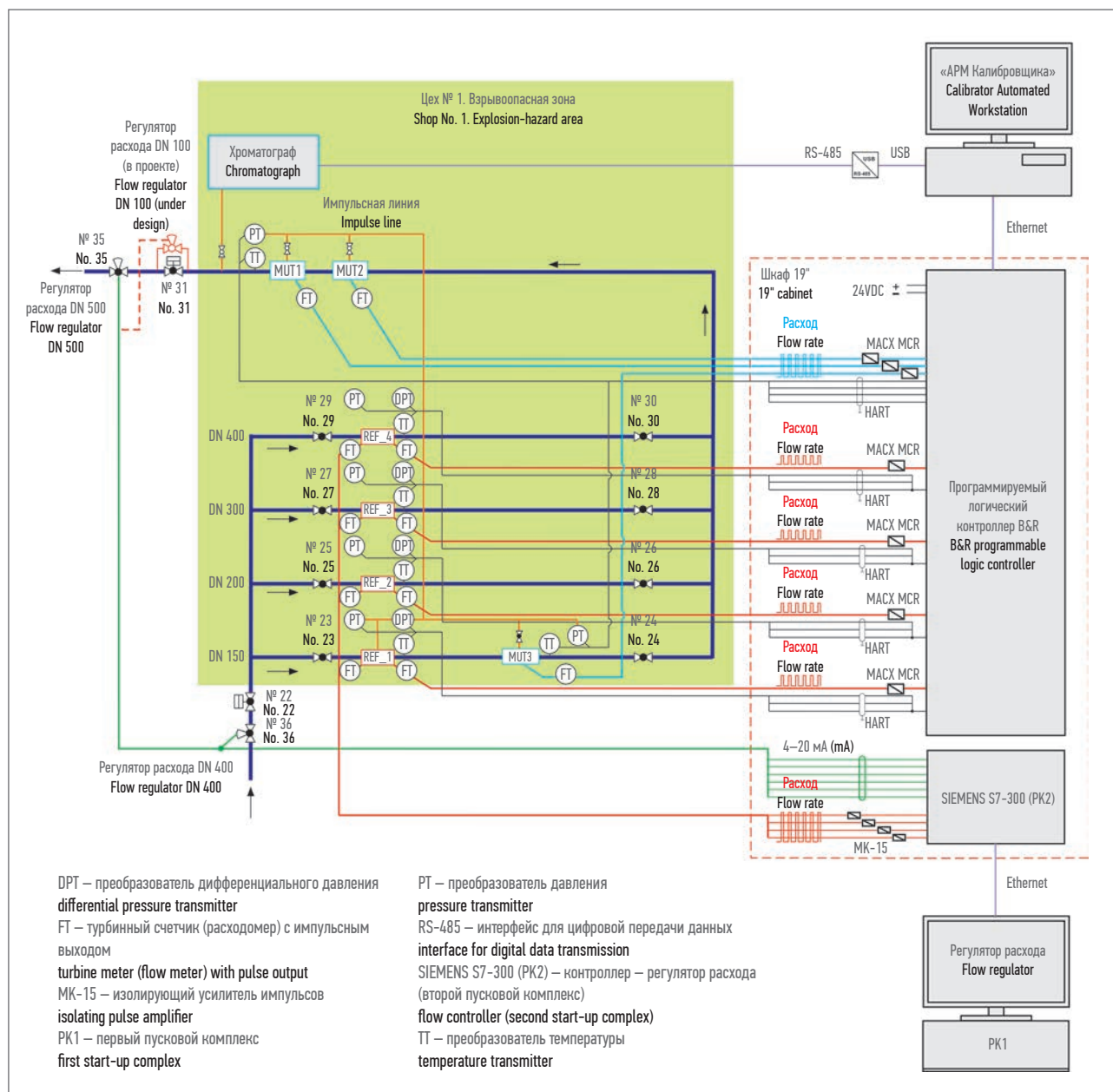


Рис. 4. Структурная схема нового программно-технического комплекса «АРМ Калибровщика» УРМЦ-10000  
Fig. 4. Schematic diagram of the new Calibrator Automated Workstation software and hardware complex of URMЦ-10000

схема ПТК «АРМ Калибровщика» УРМЦ-10000 (старая схема приведена на рис. 3).

В качестве основы использовался программный продукт «ГКС Расход НТ» производства ООО НПП «ГКС» на базе WinCC OA Server (Siemens AG). В дальнейшем он был доработан с учетом технических требований, сформированных Челябинским ЛПУМГ. Функцию визуализации и управления выполняет мнемосхема УРМЦ-10000, которая должна отражать:

- измерительные трубопроводы с расположенными на них эталонными турбинными счетчиками;
- MUT1 и (или) MUT2 (для случая калибровки СИ на выходном коллекторе DN 400) и MUT3 (для случая калибровки СИ на DN 150);

- четыре датчика абсолютного давления на эталонных турбинных счетчиках;
- четыре датчика дифференциального давления на эталонных турбинных счетчиках;
- четыре датчика температуры на эталонных турбинных счетчиках;
- один датчик абсолютного давления на MUT1, MUT2;
- один датчик температуры на MUT1, MUT2;
- один датчик абсолютного давления на MUT3;
- один датчик температуры на MUT3;
- CheckBox для выбора эталонных турбинных счетчиков, работающих одновременно или по очереди;

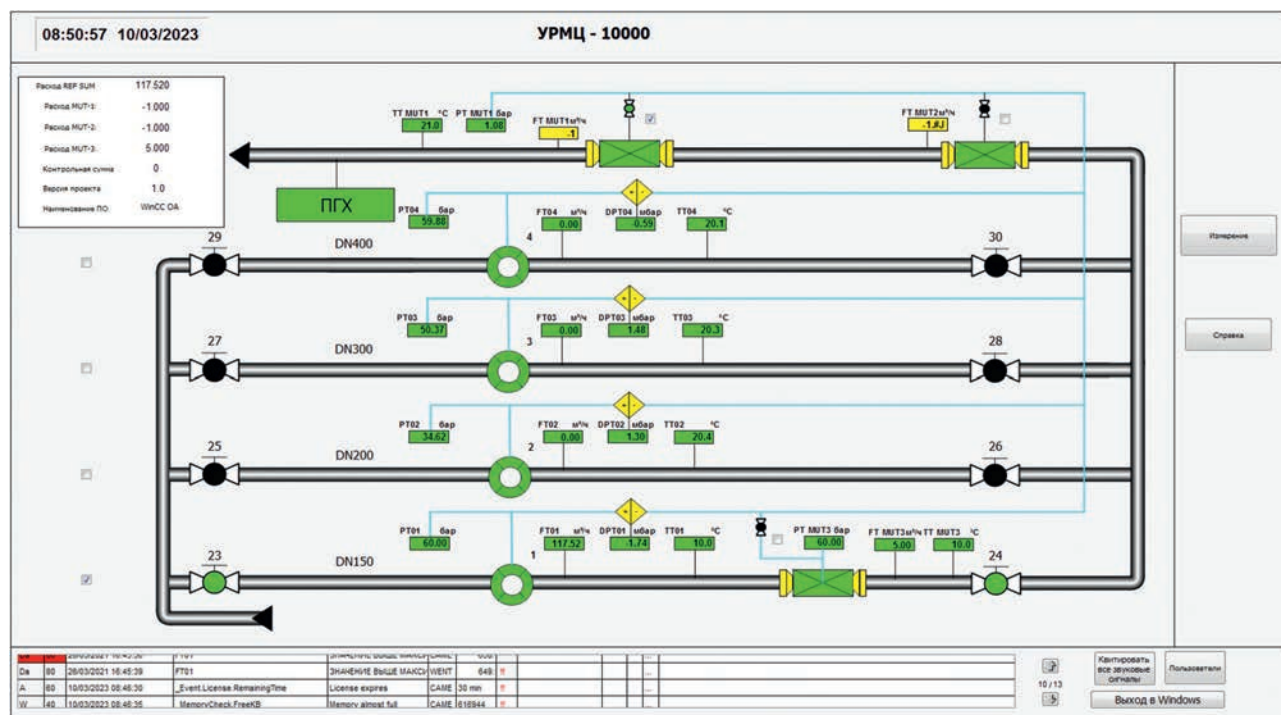


Рис. 5. Мнемосхема рабочего эталона единицы объемного расхода газа 1-го разряда в диапазоне значений от 32 до 13 000 м³/ч  
Fig. 5. Mimic diagram of the 1st grade operational standard for gas volume flow rate unit in the value range of 32 to 13 000 m³/h

- CheckBox для выбора СИ, калибруемых одновременно или по очереди;
  - рекомендуемое положение запорной арматуры в зависимости от выбранных измерительных трубопроводов;
  - результаты обработки частотных и импульсных сигналов с MUT.
- Структурная схема нового ПТК «АРМ Калибровщика» УРМЦ-10000 приведена на рис. 4.
- В программе «АРМ Калибровщика» УРМЦ-10000 реализованы следующие основные функции:
- отображение и регистрация измерительной и технологической информации;
  - онлайн-просмотр режимов работы каждой измерительной линии и измерительных преобразователей;
  - автоматическое построение и отображение графиков измеряемых величин (трендов) с возможностью размещения в одном окне нескольких графиков и масштабированием параметра по каждому графику отдельно;
  - технологический контроль за работой оборудования;
  - установка режимов расчета коэффициента коррекции;
  - прием параметров (расход газа, температура, давление) из программируемого логического контроллера В&R;
  - вычисление объема природного газа;
  - формирование и печать отчетных документов по запросу;

- привилегированный доступ при помощи паролей по уровням управления и работы с программой;
- отображение мнемосхем (рис. 5);
- защита АРМ оператора от несанкционированного доступа;
- информационный обмен с программируемым логическим контроллером В&R по протоколу TCP/IP, интерфейс Industrial Ethernet через промышленные коммутаторы;
- информационный обмен с АРМ оператора по протоколу TCP/IP, интерфейс Ethernet через промышленные коммутаторы;
- автоматическая синхронизация системного времени АРМ оператора;
- ввод в ручном и автоматическом режиме результатов анализа состава природного газа на базе промышленного газового хроматографа МАГ (модель – КС 50.310–000).

#### ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПТК «АРМ КАЛИБРОВЩИКА УРМЦ»

Для унификации задач и функций калибровщика на УРМЦ целесообразно создать единое АРМ первого и второго пускового комплекса. Для этого предлагается объединить АРМ первого и второго цехов с его последующей установкой в операторной второго цеха. Обмен данными между АРМ второго цеха и программируемым логическим контроллером В&R УРМЦ-10000 следует организовать по оптическому каналу связи Ethernet.

Состав необходимого оборудования:  
– промышленный контроллер;  
– мастер-компьютер АРМ оператора калибровки (сервер);  
– комплект специализированного программного обеспечения (визуализация и управление).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ПАО «Газпром» и ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург» проводят модернизацию действующих поверочных установок (УРМЦ-10000 и УРМЦ-70000) с последующей аттестацией в качестве рабочих эталонов единицы объемного расхода газа 1-го разряда. Создание первичного эталона проводится

в рамках реализации «Дорожной карты на период 2019–2024 годов по созданию Государственного первичного специального эталона расхода природного газа высокого давления», утвержденной ПАО «Газпром» и Министерством промышленности и торговли Российской Федерации. В качестве опорной структуры по взаимодействию ведомства с ПАО «Газпром» определено Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии.

Проведение описанных работ в полном объеме позволит обеспечить воспроизведение, хранение и передачу единицы расхода природного газа высокого давления с наивысшей точностью, не уступающей мировому уровню. ■

## ЛИТЕРАТУРА

- ISO 17089-1:2010. Measurement of fluid flow in closed conduits – Ultrasonic meters for gas – Part 1: Meters for custody transfer and allocation measurement // ISO: офиц. сайт. URL: <https://www.iso.org/standard/41235.html> (дата обращения: 07.04.2023). Режим доступа: после приобретения.
- Российская Федерация. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений объемного и массового расходов газа: приказ Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 11.05.2022 № 1133 // Кодекс: электрон. фонд правовых и норматив.-техн. док. URL: <https://docs.cntd.ru/document/350332354> (дата обращения: 07.04.2023).
- Князев О.В., Савченков С.В., Реунов А.В., Кадин С.Н. Уральский метрологический центр для поверки средств измерения расхода природного газа в рабочих условиях // Газовая промышленность. 2012. № 5 (680). С. 74–78.
- Прудников И.А., Манзин И.К., Жданов А.В. и др. Перспективы развития Уральского регионального метрологического центра // Газовая промышленность. 2019. № 52 (786). С. 42–51.
- ОАО «Газпром». О мерах по созданию единой комплексной системы учета расхода газа и повышению точности измерений количества газа на предприятиях по добыче, переработке и транспортировке газа ОАО «Газпром»: Постановление ОАО «Газпром» от 24.11.1994 № 83 // ПАО «Газпром»: офиц. сайт. URL: <https://www.gazprom.ru/> (дата обращения: 07.04.2023). Режим доступа: по особым условиям в локальной сети владельца.
- ГОСТ ISO/IEC 17025–2019. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий // Кодекс: электрон. фонд правовых и норматив.-техн. док. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200166732> (дата обращения: 07.04.2023).
- ГОСТ Р ИСО 9001–2015. Системы менеджмента качества. Требования // Кодекс: электрон. фонд правовых и норматив.-техн. док. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200124394> (дата обращения: 07.04.2023).
- PMF 115–2019. Государственная система обеспечения единства измерений. Калибровка средств измерений. Алгоритмы обработки результатов измерений и оценивания неопределенности // Кодекс: электрон. фонд правовых и норматив.-техн. док. URL: <https://docs.cntd.ru/document/564166693> (дата обращения: 07.04.2023).
- PTB-Prüfregeln. Band 30: Messgeräte für Gas – Hochdruckprüfung von Gaszählern // PTB: офиц. сайт. URL: <https://oar.ptb.de/resources/show/10.7795/510.20200811> (дата обращения: 07.04.2023). Режим доступа: после приобретения.
- Соглашение о сотрудничестве в области создания, хранения и эксплуатации эталонов величин для воспроизведения и передачи единиц объемного и массового расхода природного газа и жидких углеводородных сред между Публичным акционерным обществом «Газпром» и Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии // ПАО «Газпром»: офиц. сайт. URL: <https://www.gazprom.ru/> (дата обращения: 07.04.2023). Режим доступа: по особым условиям в локальной сети владельца.
- ГОСТ 5542–2014. Газы горючие природные промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия // Кодекс: электрон. фонд правовых и норматив.-техн. док. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200113569> (дата обращения: 07.04.2023).

## REFERENCES

- ISO. ISO 17089-1:2010. Measurement of fluid flow in closed conduits – Ultrasonic meters for gas – Part 1: Meters for custody transfer and allocation measurement. Available from: <https://www.iso.org/standard/41235.html> [Accessed: 7 April 2023]. (Available upon purchase)
- Federal Agency on Technical Regulation and Metrology (Rosstandart). Order No. 1133 dated 11 May 2022. On approval of the state verification scheme for gas volumetric and mass flow measuring instruments. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/350332354> [Accessed: 7 April 2023]. (In Russian)
- Knyazev OV, Savchenkov SV, Reunov AV, Kadin SN. Ural metrological center for verification of natural gas flow meters under operation conditions. Gas Industry [Gazovaya promyshlennost']. 2012; 680(S): 74–78. (In Russian)
- Prudnikov IA, Manzin IK, Zhdanov AV, Murzenko IV, Kadin SN. Prospects of Ural Regional Metrological Center development. Gas Industry. 2019; 786(S2): 42–51. (In Russian)
- OAO Gazprom (open joint-stock company). Order No. 83 dated 24 November 1994. On measures to create a unified integrated gas metering system and improve the accuracy of gas quantity measurement at gas production, processing, and transmission facilities of OAO Gazprom. [Accessed: 7 April 2023]. (Accessible under specific conditions in the owner's local area network; in Russian)
- Euro-Asian Council for Standardization, Metrology and Certification (EASC). GOST ISO/IEC 17025–2019 (state standard). General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1200166732> [Accessed: 7 April 2023]. (In Russian)
- Rosstandart. GOST R ISO 9001–2015. Quality management systems. Requirements. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1200124394> [Accessed: 7 April 2023]. (In Russian)
- EASC. RMG 115–2019 (recommendations for interstate standardization). State system for ensuring the uniformity of measurements. Calibration of measuring instruments. Algorithms for processing measurement results and evaluating uncertainty. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/564166693> [Accessed: 7 April 2023]. (In Russian)
- PTB. PTB-Prüfregeln. Band 30: Messgeräte für Gas – Hochdruckprüfung von Gaszählern. Available from: <https://oar.ptb.de/resources/show/10.7795/510.20200811> [Accessed: 7 April 2023]. (Available upon purchase; in German)
- PJSC Gazprom. Agreement on cooperation in the creation, storage and operation of measurement standards for the reproduction and transmission of volume and mass flow units of natural gas and liquid hydrocarbon media between PJSC Gazprom and the Federal Agency on Technical Regulation and Metrology. [Accessed: 7 April 2023]. (Accessible under specific conditions in the owner's local area network; in Russian)
- EASC. GOST 5542–2014. Natural fuel gases for commercial and domestic use. Specifications. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1200113569> [Accessed: 7 April 2023]. (In Russian)