

Сделано на Дону:

производство уникальных метрологических стендов измерения расхода жидкости и газа

Р. И. СОЛОМИЧЕВ – к.т.н., ООО НПО «Турбулентность-ДОН», sktb_solomichev@turbo-don.ru

С. В. СОЛОМИЧЕВА – ООО НПО «Турбулентность-ДОН», sktb_razvitie2@turbo-don.ru

В данной статье представлена структура технической основы метрологического обеспечения производства ООО НПО «Турбулентность-ДОН», перечислены основные задачи метрологического обеспечения. Раскрыто понятие качества продукции, применительно к приборам учета расхода углеводородов. Установлена прямая связь качества выпускаемой продукции и количества выполняемых измерений в технологическом цикле производства приборов учета газа и нефтепродуктов. Повышение качества продукции в значительной степени определяет выживаемость и успех предприятия в условиях рынка, темпы технического прогресса, внедрения инноваций, рост эффективности производства, экономию всех видов ресурсов, используемых на предприятии. Одновременное обоснованное экономически повышение количества и качества производимых многократных измерений и снижение при этом издержек, связанных с данной операцией невозможно без применения автоматизированных стендовых систем измерений, используемых для контроля, как характеристик отдельных модулей измерителя, так и прибора в сборе.

Ключевые слова: приборы учета газа и нефтепродуктов, метрологические параметры, эталонная установка, стенды, поверка и калибровка, пружер

ООО НПО «Турбулентность-ДОН» имеет существенный опыт разработки и внедрения метрологически обеспеченных измерителей расхода, принцип действия которых основан на пяти физических методах измерения: ультразвуковом, термоанемометрическом, электромагнитном, кориолисовом и струйном. Все без исключения приборы содержат в своем составе вычислитель расхода, измерительный модуль и первичный преобразователь, – каждый из которых обладает индивидуальными функциями и характеристиками, присущими данным физическим принципам. В данный момент на предприятии проводится опытно-конструкторская разработка ультразвукового преобразователя расхода газа с расширенным диапазоном измерения расхода газа, у которого динамический диапазон измерения составляет от 1:400 до 1:600.

Необходимо заметить, что ООО НПО «Турбулентность-ДОН» является предприятием, которое реализует полный цикл производства измерителей расхода – конструирование, изготовление и механическая обработка деталей, разработка и изготовление электронных плат, производство первичных измерительных преобразователей, сборка, стендовые испытания приборов, в т.ч. и производство самих испытательных стендов, которые впоследствии проходят метрологическую аттестацию (рис. 1).

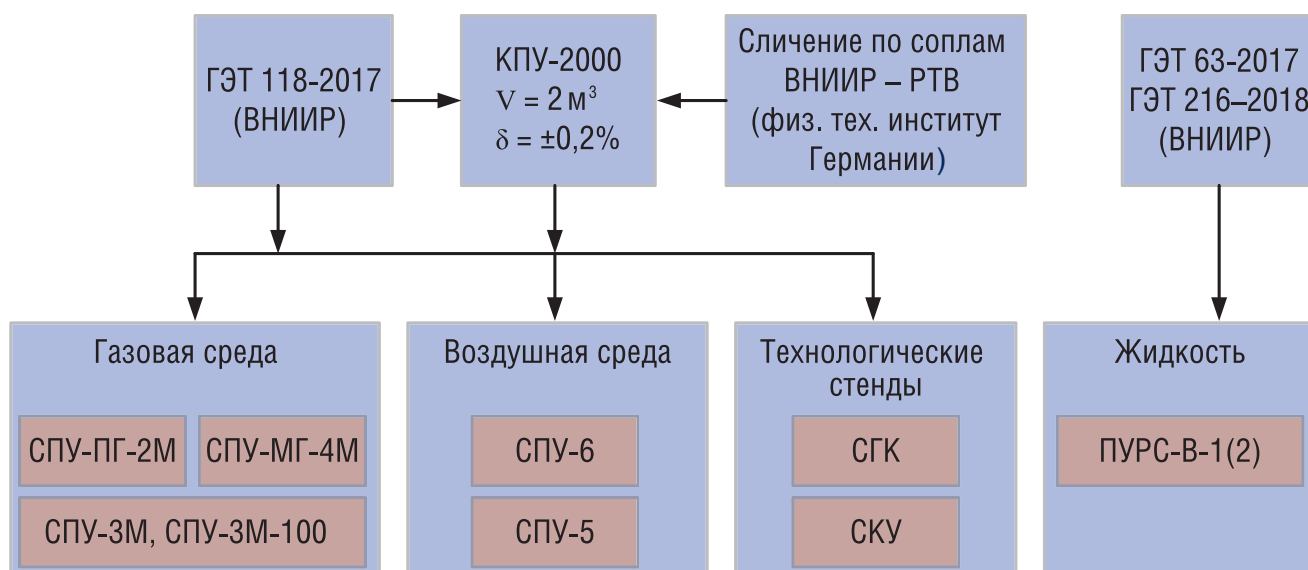


Рис. 1. Техническая основа метрологического обеспечения ООО НПО «Турбулентность-ДОН»

В рамках реализации различных проектов НИОКР в ООО НПО «Турбулентность-ДОН» разрабатываются новые методики и принципы измерения параметров газожидкостных сред, большинство из которых признаны ПАО «Газпром» перспективными разработками в России.

К основным задачам метрологического обеспечения производства приборов учета газа и нефтепродуктов в ООО НПО «Турбулентность-ДОН» можно отнести [1, 2]:

- обеспечение единства измерений при разработке, производстве и испытаниях расходомеров;
- организация и обеспечение метрологического обслуживания средств измерений: учета, хранения, поверки, калибровки, юстировки, наладки, ремонта;
- разработка и внедрение в производственный процесс методик выполнения измерений, гарантирующих необходимую точность измерений;
- проведение метрологической экспертизы конструкторской и технологической документации;
- организация и обеспечение метрологического обслуживания измерительных каналов измерительных систем: учет, аттестация, поверка, калибровка, наладка;
- внедрение современных методов и средств измерений, автоматизированного контрольно-измерительного оборудования, измерительных систем;
- разработка и внедрение нормативных документов, регламентирующих вопросы метрологического обеспечения.

Кроме этого, одной из основных задач является работа над повышением эффективности метрологического обеспечения производства, которая включает следующие мероприятия:

- ревизия и оптимизация контрольного, измерительного и испытательного оборудования, замена морально устаревшего измерительного оборудования современным, внедрение новых методов измерений;
- автоматизация измерительных процессов и оптимизация точности измерений по экономическому критерию: анализ степени важности измерительной информации, использование более точных

средств измерений на ответственных участках, использование средств измерений с более грубым классом точности, где это целесообразно;

- совершенствование процедур поверки, калибровки, ремонта средств измерений с учетом экономической эффективности: внедрение новых эталонов, аккредитация метрологической службы;
- повышение профессионального уровня персонала, занимающегося вопросами метрологического обеспечения, упорядочение структуры службы, занимающейся метрологическим обеспечением [3].

На современном рынке остро стоит вопрос совершенствования и поддержания технических характеристик продукции, которые являются одними из основных (а при выпуске средств измерений – основными) составляющих качества продукции. На качество приборов оказывает влияние огромное число факторов. К ним относятся: уровень научно-технических исследований; качество схемно-технической отработки изделий; технологичность конструкции; качество применяемых технологических процессов; техническая оснащенность производства; качество поставляемых материалов и комплектующих; уровень организации и культура производства; ритмичность работы; обеспеченность кадрами и их квалификация; качество контроля изделий на этапах проектирования и разработки, производства и испытаний. Для оценки показателей качества продукции применяются методы [4]: измерительный; расчетный или аналитический; статистический; экспертный; органолептический; социологический. Решение проблемы качества во многом зависит от качества получаемой измерительной информации.

Получение объективной информации об измеряемом показателе основано на выработке требований к измеряемому (контролируемому) параметру; выборе средств измерений, методик выполнения измерений требуемой точности; соблюдении целого комплекса метрологических правил получения, обработки и представления результатов измерений [5].

В современном мире качество выпускаемой продукции определяет конкурентоспособность предприятия, его устойчивое развитие. Качество является основным фактором реализации товара по выгодной цене. Обеспечение качества выпускаемой продукции и услуг является основной целью деятельности метрологии, стандартизации и сертификации.

При высокотехнологичном производстве узлов учета углеводородов в ООО НПО «Турбулентность-ДОН» на операции, связанные с различными измерениями, отводится до 20–50% от совокупного времени изготовления приборов. Следует отметить, что три четверти от данного количества времени – это автоматизированные стендовые проверки отдельных модулей электроники, сборок, первичных измерительных преобразователей (датчиков), а также расходомеров в собранном виде при их калибровке и первичной поверке.

Качество выпускаемой продукции зависит как от качества технологических процессов производства, так и, в немалой степени, от качества метрологического обеспечения производства (качества, выполняемых в процессе производства и при приемке готовой продукции, измерительных и контрольных операций). Эти операции применяются при входном контроле сырья и комплектующих изделий, контроле состояния производственных технологических процессов, выходном контроле качества. Следовательно, измерения и инструментальный измерительный контроль являются важными элементами управления качеством продукции [6].

От выпуска высококачественной продукции выигрывает и национальная экономика, поскольку в этом случае увеличиваются экспортный потенциал и доходная часть платежного баланса страны, повышается авторитет государства в мировом сообществе. Тот факт, при котором приборы учета газа и нефтепродуктов производства ООО НПО «Турбулентность-ДОН», а также системы телеметрии, экспортируются в шесть стран ближнего и дальнего зарубежья (Беларусь, Казахстан, Узбекистан, Киргизия, Украина, Иран), говорит о высоком доверии к выпускаемой продукции в данных странах. Отсюда вытекает необходимость постоянной, целенаправленной, кропотливой работы всего персонала, участвующего в выпуске измерительных приборов, по поддержанию и повышению качества продукции в сравнении с аналогами конкурентов.

Так, в арсенале производственно-технологических мощностей ООО НПО «Турбулентность-ДОН» имеется следующее уникальное метрологическое стендовое оборудование собственной разработки, приведенное в табл. 1.



Таблица 1. Метрологическое стендовое оборудование собственной разработки ООО НПО «Турбулентность-ДОН»

Название установки	Среда испытаний	Назначение	Характеристики
СПУ-ПГ-2М	Природный газ, поверочные газовые смеси (ПГС)	Эталонная сопловая поверочная установка на природном газе	Диапазон расходов газа от $Q_{\min} = 1 \text{ м}^3/\text{ч}$ до $Q_{\max} = 16000 \text{ м}^3/\text{ч}$ Относ.погрешность, не более $\pm 0,3\%$
СПУ-МГ-4М		Эталонная сопловая поверочная мультигазовая установка	Диапазон расходов газа от $Q_{\min} = 0,2 \text{ м}^3/\text{ч}$ до $Q_{\max} = 2500 \text{ м}^3/\text{ч}$ Относ.погрешность, не более $\pm 0,3\%$
СГК		Автоматизированный стенд проверки герметичности и сухой калибровки ультразвуковых расходомеров газа	Максимальное избыточное давление 1,6 МПа Относ. погрешность, не более, – по температуре, $\pm 0,15\%$ – по давлению, $\pm 0,15\%$
КПУ-2000	Воздух	Эталонная колокольная установка	Объем $V = 2 \text{ м}^3$ Относ.погрешность, не более $\pm 0,2\%$
СПУ-6		Эталонная сопловая поверочная установка расходомеров счетчиков газа	Диапазон расходов газа от $Q_{\min} = 0,2 \text{ м}^3/\text{ч}$ до $Q_{\max} = 2500 \text{ м}^3/\text{ч}$ Относ.погрешность, не более $\pm 0,2\%$
СПУ-5		Эталонная сопловая калибровочная и поверочная установка бытовых счетчиков (расходомеров) газа	Диапазон расходов газа от $Q_{\min} = 0,016 \text{ м}^3/\text{ч}$ до $Q_{\max} = 65 \text{ м}^3/\text{ч}$ Относ.погрешность, не более $\pm 0,35\%$
СКУ		Автоматизированная калибровочная и поверочная установка ультразвуковых расходомеров газа	Диапазон расходов газа от $Q_{\min} = 1,4 \text{ м}^3/\text{ч}$ до $Q_{\max} = 1100 \text{ м}^3/\text{ч}$ Относ.погрешность, не более $\pm 0,35\%$
СПУ-3М, СПУ-3М-100		Мобильная эталонная поверочная установка счетчиков (расходомеров) газа	Диапазон расходов газа (в зависимости от модификации) от $Q_{\min} = 0,016 \text{ м}^3/\text{ч}$ до $Q_{\max} = 100 \text{ м}^3/\text{ч}$ Относ.погрешность в раб. усл., не более $\pm 0,3\%$
ПУРС-В-1(2)	Жидкость (вода)	Установка поверочная расходомерная для настройки, калибровки и поверки СИ расхода и объема жидкости различных типов	Диапазон расходов $\text{м}^3/\text{ч}$, – по весовому контуру от 0,03 до 217,2 – по объемному контуру от 0,34 до 217,2 Относ.погрешность %, не более, – по весовому контуру $\pm 0,07$ – по объемному контуру $\pm 0,3$



Рис. 2. Опыт разработки и создания эталонных установок в сфере метрологического обеспечения измерения расхода природного газа



Рис. 3. Установка расходомерная СПУ-ПГ-2М



Рис. 4. Сопловая поверочная установка СПУ-МГ-4М

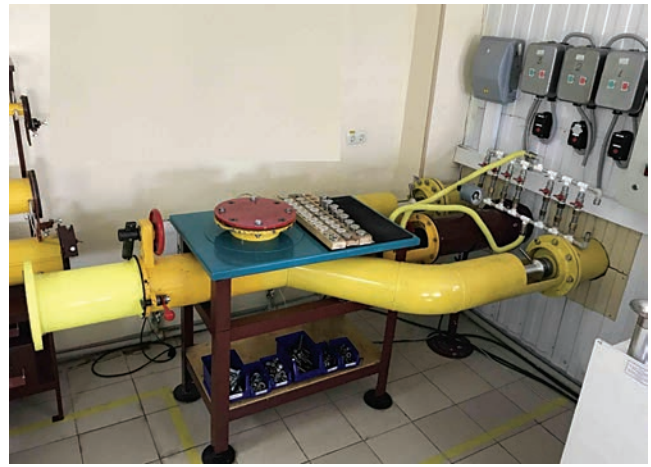


Рис. 5. Сопловая поверочная установка СПУ-6

Установка – СПУ-ПГ-2М – первый на территории РФ эталон с измеряемой средой – природный газ. Введена в эксплуатацию в 2003 г. Установка СПУ-ПГ-2М предназначена для воспроизведения объемного расхода и объема газа. Принцип действия СПУ-ПГ-2М основан на подаче природного газа из газопровода высокого давления после редуцирования в одну из трех измерительных линий, на которой устанавливается испытуемый расходомер, и последовательного сличения с эталонными критическими соплами. Для переключения потока газа в состав измерительных линий включена запорно-регулирующая арматура. Комплекты критических сопел формируют заданный расход путем их комбинации с помощью управляемой в автоматическом режиме запорно-регулирующей арматуры. Весь цикл испытаний и поверки автоматизирован посредством разработанного аппаратно-программного комплекса специалистами ООО НПО «Турбулентность-ДОН».

Эталонная мультигазовая поверочная установка СПУ-МГ-4М предназначена для проведения испытаний и исследования метрологических характеристик расходомеров газа различного принципа действия в диапазоне расхода от 0,2 до 6500 м³/ч на различных составах газа. Особенностью конструкции установки является возможность создавать в замкнутом кольцевом контуре различные комбинации расхода при различных значениях давления (от 0 до 1,2 МПа избыточного давления) и температур (от -15°С до +70°С). Процесс испытаний полностью автоматизирован. Установка введена в эксплуатацию в 2008 г.



Рис. 6. Колокольная поверочная установка КПУ-2000

Базовой установкой для калибровки и поверки газовых расходомеров проливным методом является установка СПУ-6. Все установки прошли аккредитацию, имеют сертификаты об утверждении типа. Введена в эксплуатацию в 2017 г.

Колокольная поверочная установка КПУ-2000 предназначена для воспроизведения заданного объема и объемного расхода газа, создаваемого с помощью колокольного мерника при использовании набора критических сопел. Принцип действия поверочной установки основан на сравнении эталонного объема и объемного расхода газа, прошедшего через установку с показаниями поверяемого средства измерения. В качестве рабочей среды используется газ, забираемый из ресивера, входящего в состав поверочной установки. Конструкция резервуара обеспечивает поддержание постоянной температуры газа под колоколом и масла в резервуаре. Контроль температуры и давления газа, подаваемого из-под колокола, осуществляется автоматической системой управления при помощи встроенных датчиков температуры и давления. Особо следует отметить, что установка КПУ-2000 воспроизводит единицу измерения объема газа не только от ГЭТ-118 в соответствии с действующей ГПС, но и путем выполнения периодических сличений через эталоны переносчики – критические сопла, имеет согласование с единицей объема газа от эталона Физико-Технического Института Германии (РТВ). Введена в эксплуатацию в 2014 г.



Установка поверочная СПУ-5 предназначена для воспроизведения единицы объемного расхода при поверке бытовых и коммунальных счетчиков газа. Проведение поверки счетчиков газа основано на сравнении результатов одновременных измерений объема воздуха поверяемым счетчиком газа и установкой. Результат измерений объема с помощью установки принимают в качестве действительного значения.

В качестве эталона в установке используются сопла, работающие в критическом режиме. С помощью каждого сопла установки задается определенный объемный расход воздуха, значение которого зависит от площади (диаметра) горловины сопла. Введена в эксплуатацию в 2010 г.

Переносные поверочные установки серии СПУ-3М предназначены для поверки коммунально-бытовых приборов учета газа типоразмеров G1.6-G25 на месте эксплуатации без демонтажа.



Рис. 7. Установка поверочная СПУ-5



Рис. 8. Переносная поверочная установка серии СПУ-3М

Установка поверочная расходомерная ПУРС-В-1 (далее – установка), предназначена для настройки, калибровки и поверки средств измерения расхода и объема жидкости различных типов. Введена в эксплуатацию в 2014 г.

Согласно вышеизложенному, для повышения качества, надежности и конкурентоспособности выпускаемой продукции, увеличения производительности предприятия необходимо осуществлять сплошной непрерывный контроль технических характеристик производимых устройств. Это возможно только при автоматизации процесса проведения испытаний и создании специализированных систем – стендов.

Стенды с системой автоматического управления имитируют работу испытываемой детали или прибора в сборе на режимах, заявленных производителем. Испытание прибора со снятием в автоматическом режиме всех параметров направлено на контроль качества продукции и интенсификацию производства.

Каждый этап производства узлов учета сопровождается определенным набором испытаний, как составных модулей по отдельности, так и приборов в сборе. Реализованные алгоритмы всевозможных проверок в аппаратно-программном комплексе стендов, автоматизируют процесс проведения испытаний. Это повышает не только производительность, поскольку в автоматическом режиме измерения проводятся многократно быстрее, но и точность, поскольку виртуальные приборы позволяют проводить измерения по нескольким каналам одновременно, гарантируя идентичность сигналов при относительных измерениях и испытаниях, проводимых методом сличения с образцом. Кроме того, математическая обработка результатов измерений также производится автоматически – по окончании испытаний в отчет выводятся значения измеряемых параметров и их отклонений от номинального значения.

При разработке стендов в ООО НПО «Турбулентность-ДОН» для технологического цикла производства узлов учета углеводородов были учтены их необходимые степени гибкости. Стенды разработаны с учетом унификации номенклатур приборов, при которой достигается возможность проведения испытаний, например, приборов с различными диаметрами, и имеется возможность выполнять несколько поставленных задач – проверочных и настроечных.



Рис. 9. Установка поверочная расходомерная ПУРС-В-1

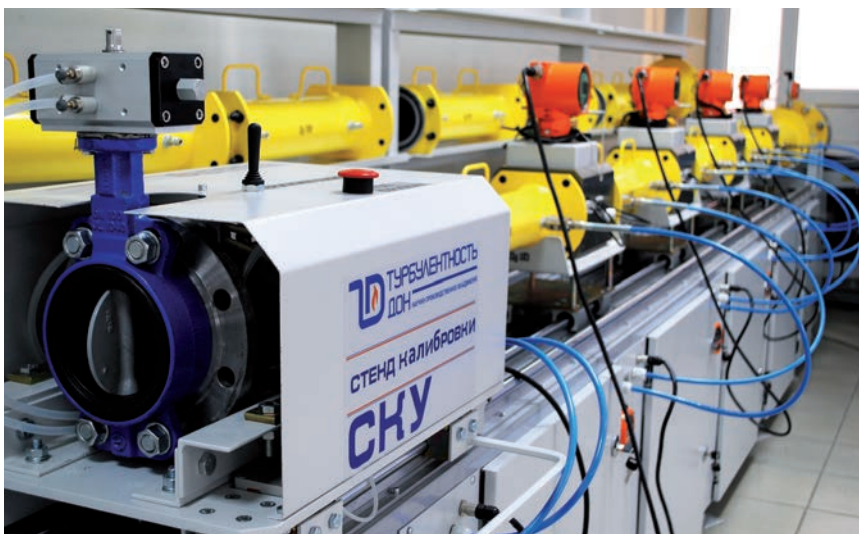


Рис. 10. Автоматизированная поверочная установка ультразвуковых счетчиков газа SKU



Рис. 11. Стенд проверки герметичности и сухой калибровки ультразвуковых расходомеров газа



Рис. 12. Действующий макет ГПСЭ, созданный в конструкторском бюро ООО НПО «Турбулентность-ДОН»

Трудозатраты оператора сведены к минимуму: производится лишь выбор модификации устройства из имеющегося списка, и, в зависимости от выбранного типа, изменяются записываемые настройки приборов: проверяемые параметры, номинальные значения параметров, пределы допускаемых погрешностей и т.д.

Научно-производственное объединение «Турбулентность-ДОН», специализирующееся на выпуске расходомеров газа промышленного и бытового исполнения различных модификаций, основанных на различных физических принципах измерения, наращивает объем выпуска продукции, что сопряжено с расширением мощностей на различных этапах производства: при сборке, настройке и проверке работоспособности, калибровке и складировании. В частности, увеличение выпуска ультразвуковых расходомеров газа UFG-F-C для применения на трубопроводах малых диаметров от 50 до 100 мм в качестве альтернативы измерительным комплексам на базе турбинных и ротационных счетчиков газа сопряжено с внедрением автоматизированных систем, с целью интенсификации производства и сокращения производственных издержек. В этой связи были разработаны и внедрены в производство линейки ультразвуковых расходомеров газа UFG-F-C автоматизированные стенды SGK и SKU.

На данный момент конструкторское бюро ООО НПО «Турбулентность-ДОН» занимается созданием Государственного первичного специального эталона (ГПСЭ) единицы объемного расхода природного газа при давлении до 10 МПа в рамках реконструкции 3-й очереди Уральского регионального метрологического центра. Согласно плану проекта, в марте 2022 г. завершился 2-й этап проведения опытно-конструкторской разработки, в результате чего был изготовлен и испытан макет ГПСЭ (рис. 12), подтверждены заявленные метрологические характеристики по техническому заданию. Итоговая расширенная неопределенность ГПСЭ составила 0,079%.



В качестве действующего образца ГПСЭ будет создана версия поршневой установки, состоящая из четырех цилиндров для обеспечения требуемого динамического диапазона задаваемых расходов от не более $5 \text{ м}^3/\text{ч}$ до не менее $400 \text{ м}^3/\text{ч}$ (рис. 13).

Работы по опытно-конструкторской разработке ГПСЭ запланированы к завершению в 2023 г. Создание эталона объемного расхода природного газа до 10 МПа обеспечит решение ряда задач и вопросов по обеспечению единства измерений расхода, а также укрепит энергетическую безопасность страны и усилит позиции отечественного топливно-энергетического комплекса в международном метрологическом сообществе.

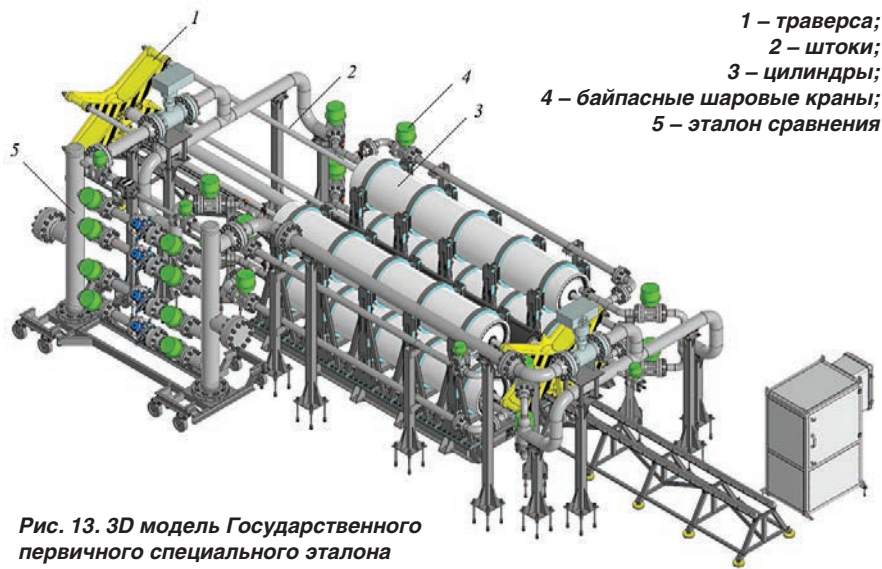


Рис. 13. 3D модель Государственного первичного специального эталона единицы объемного расхода

1 – траверса;
2 – штоки;
3 – цилиндры;
4 – байпасные шаровые краны;
5 – эталон сравнения

ВЫВОДЫ:

1. Представлена структура технической основы метрологического обеспечения производства ООО НПО «Турбулентность-ДОН», перечислены основные задачи метрологического обеспечения. Одной из основных задач является работа над повышением эффективности метрологического обеспечения производства, которая включает такие мероприятия, как автоматизация измерительных процессов и оптимизация точности измерений по экономическому критерию, совершенствование процедур поверки, калибровки, ремонта средств измерений с учетом экономической эффективности: внедрение новых эталонов, аккредитация метрологической службы.

2. Раскрыто понятие качества продукции, применительно к приборам учета расхода углеводородов. Установлена прямая связь качества выпускаемой продукции и количества выполняемых измерений в технологическом цикле производства приборов учета газа и нефтепродуктов. Повышение качества продукции в значительной степени определяет выживаемость и успех предприятия в условиях рынка, темпы технического прогресса, внедрения инноваций, рост эффективности производства, экономию всех видов ресурсов, используемых на предприятии.

3. Одновременное обоснованное экономически повышение количества и качества производимых многократных измерений и снижение при этом издержек, связанных с данной операцией невозможно без применения автоматизированных стендовых систем измерений, используемых для контроля, как характеристик отдельных модулей измерителя, так и прибора в сборе. Так, на предприятии ООО НПО «Турбулентность-ДОН» внедрено более девяти сертифицированных автоматизированных эталонных установок собственной разработки, используемые для всех типов выпускаемых промышленных и бытовых приборов учета газа и жидкостей. Среди подобных разработок имеются модификации мобильных поверочных установок для расходомеров-счетчиков коммунально-бытового сегмента (СПУ-3М).

4. ООО НПО «Турбулентность-ДОН» является ведущим отечественным производителем не только средств измерения расхода газа и жидкости, но и уникальных метрологических установок с полным циклом создания от их разработки до изготовления. Конструкторское бюро НПО «Турбулентность-ДОН», имея колоссальный опыт и необходимые компетенции по разработке и изготовлению стендовых установок в 2021 г. занялось разработкой поршневой установки Государственного первичного специального эталона единицы объемного расхода природного газа на давление до 10 МПа в комплексном проекте по реконструкции Уральского регионального метрологического центра, тем самым обеспечив выполнение программы импортозамещения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Лежнина И. А. Метрологическое обеспечение производства: учебное пособие / И. А. Лежнина, А. А. Уваров; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 120 с.
2. Никуличева Н. Г. Метрологическое обеспечение и контроль качества материалов и изделий: монография / Никуличева Н. Г. [и др.]; под общей редакцией д.т.н., проф. В. Т. Прохорова. – Шахты: Изд-во ГОУ ВПО «ЮРГУЭС», – 164 с.
3. Коротков В. С. Метрология, стандартизация и сертификация: учебное пособие / Коротков В. С., Афонасов А. И. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 194 с.
4. Ширялкин А. Ф. Метрология в аспектах качества: учебное пособие / Ширялкин А. Ф., Шароухова В. П. – Ульяновск: УлГТУ, 2010. – 168 с.
5. Главный форум метрологов. Метрологические службы. Режим доступа: // www.metrologu.ru/info/metrologia/metrologicheskoe-obespechenie-proizvodstva/metrologicheskaa-sluzhba.html – Загл. с экрана.
6. Малинин Д. В. Метрология. Значение метрологии для рыночной экономики. Режим доступа: <http://metrob.ru/HTML/Staty/staty/malinin.html> – Загл. с экрана.
7. Соломичев Р. И. Методы и средства измерения параметров многофазных потоков / Р. И. Соломичев, А. Н. Слонько // СФЕРА. Нефть и Газ. – 2020. № 5/2020 (78). С. 50–54.