

Введение В настоящее время существенно повышены требования к учету жидкого углеводородного сырья, в том числе сжиженных углеводородных газов, газового конденсата и широкой фракции легких углеводородов. Возможность получения достоверного результата измерения плотности данных энергоносителей, позволяет решить большое количество задач, связанных с его транспортировкой, переработкой и хранением. В частности, необходимо определять его расход и количество для коммерческого учета. Особенную актуальность проблема точного коммерческого учета приобретает в современных сложных экономических условиях. Решение задачи точного и достоверного расчёта массового расхода углеводородного сырья невозможно без знания его плотности. Плотность углеводородного сырья на производствах измеряют, как правило, автоматическими плотномерами (поточными или лабораторными). Нормативные документы по поверке автоматических поточных плотномеров требуют проведение поверки в реальных условиях эксплуатации. Однако, согласно поверочной схеме для средств измерения плотности [1] передача размера единицы плотности от Государственного вторичного эталона рабочим средствам измерений осуществляется в диапазоне плотности 650-2000 кг/м³ при нормальных условиях, т.е. существенно отличающихся от условий измерения плотности жидких углеводородов при эксплуатации рабочих средств измерений. Анализ ситуации В настоящее время наибольшее распространение получили довольно простые в эксплуатации вибрационные преобразователи плотности жидкости типа 7830 и 7835, обладающие высокой прецизионностью, и позволяющие измерять плотность жидкости в диапазоне от 300 до 1100 кг/м³ в широком диапазоне температур и давлений. Применяемые процедуры измерений при проведении поверки и градуировки преобразователей плотности жидкости типа 7830 и 7835 в условиях их эксплуатации обеспечивают требуемую точность измерений лишь в узком диапазоне плотности, температур и давлений, и не гарантируют обеспечение необходимой точности при изменении условий перекачки. В настоящее время происходит расширение области применения поточных преобразователей плотности жидкости. При этом наблюдаются следующие тенденции: - расширение диапазона давлений (до 10МПа); - расширение диапазона температур (до 70°C). Это, в свою очередь, приводит к появлению новых проблем при проведении испытаний с целью утверждения типа средств измерений и поверки поточных преобразователей, особенно при проведении первичных поверок в лабораторных условиях. В частности: - государственный первичный эталон плотности воспроизводит и передает единицу плотности при помощи компаратора в статическом режиме [1]. При этом передача единицы осуществляется в узком диапазоне температур и при атмосферном давлении, что не соответствует современным условиям эксплуатации рабочих средств измерения плотности; - существующие поверочные установки, как правило, рассчитаны на работу при давлении

поверочной жидкости до 6 МПа, а так же отсутствует прослеживаемость единицы плотности от первичного эталона к поверочным установкам. ФГУП «ВНИИР» провел анализ существующих методов и средств поверки поточных преобразователей плотности. Результаты анализа существующих методов и средств поверки поточных преобразователей плотности представлены в таблице 1. Как видно из таблицы 1, поверка на месте эксплуатации проводится в более широком диапазоне температур и давления поверяемой жидкости. В тоже время, поверка на месте эксплуатации проводится, как правило, в «одной точке», так как технологические процессы не позволяют существенно изменять параметры жидкости в процессе поверки. Это является существенным недостатком поверки на месте эксплуатации, поскольку условия работы поточного преобразователя в межповерочный интервал могут значительно меняться.

Таблица 1 - Результаты анализа существующих методов и средств поверки поточных преобразователей плотности

Вид поверки	Применяемые средства	Условия поверки
Поверка на месте эксплуатации (первичная и периодическая).	Напорные металлические пикнометры (погрешность $\pm 0,1$ кг/м ³). Автоматические плотномеры жидкости (погрешность $\pm 0,1$ кг/м ³).	Соответствуют конкретным условиям эксплуатации поверяемых преобразователей. Из практического опыта: Диапазон температуры поверочной жидкости: $+5 - +70$ °С; Диапазон давления поверочной жидкости: 0 - 8 МПа.
Поверка в условиях лаборатории (первичная и периодическая).	Напорные металлические пикнометры (погрешность $\pm 0,1$ кг/м ³). Автоматические эталонные плотномеры (погрешность $\pm 0,1$ кг/м ³)	Диапазон температуры поверочной жидкости: от $+20$ до $+50$ °С; Диапазон давления поверочной жидкости: 0 - 6 МПа. Эталон

Для решения вышеперечисленных проблем ФГУП «ВНИИР» провел научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по разработке Государственного эталона единицы плотности жидкости в потоке. В ходе проведенных исследований были установлены требования к эталону плотности жидкости: - диапазон воспроизведения температуры поверочной жидкости от $+5$ до $+70$ °С; - диапазон воспроизведения давления поверочной жидкости от 0 до 10 МПа; - возможность независимого задания температуры поверочной жидкости и воздуха в термошкафу; - возможность использования в качестве эталонных средств поверки как напорных металлических пикнометров или автоматических плотномеров, так и лабораторных плотномеров, обладающих более высокой точностью измерения (при поверке при атмосферным давлением). Была разработана функциональная схема гидравлического контура эталона, представленная на рис. 1.

1 - циркуляционный насос (дозировочный), 2- частотный регулятор (для изменения расхода жидкости), 3 -счетчик (расходомер) жидкости, 4-устройство создания давления, 5 - мотор-редуктор с блоком управления для автоматизации процесса создания и поддержания давления, 6 - термошкаф со встроенной системой

воздушного термостатирования (нагревателя и холодильными агрегатами), 7 - датчики давления, 8 - теплообменники, 9 - датчики температуры, 10-пикнометры металлические напорные, 11 - рабочие плотномеры (испытываемые) Рис. 1 - Функциональная схема гидравлического контура эталона

Был произведен подбор средств измерений и технических устройств, которые бы обеспечивали необходимые условия работы создаваемого эталона, а именно возможность обеспечения и поддержания высоких температур и давлений при движении жидкости по замкнутому контуру эталона. В созданном и утвержденном, на основании Приказа Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии №519 от 25 апреля 2014г., эталоне реализовано: - задание избыточного давления поверочной жидкости в диапазоне от 0 до 10 МПа; - задание температуры поверочной жидкости в диапазоне от плюс 5 до плюс 70 °С; - плавное регулирование расхода поверочной жидкости. Термостатирование поверочной жидкости осуществляется посредством внешнего термостата. В качестве рабочей среды применяется нефть [2], вода дистиллированная [3], спирт изопропиловый по [4], изооктан по [5]. Внешний вид Эталона представлен на рис.2. Метрологические характеристики эталона

В результате исследований [6] эталона были получены следующие показатели: - диапазон значений плотности, в котором воспроизводится единица плотности жидкости - от 600 до 1200 кг/м³; - среднее квадратическое отклонение, кг/м³- $9,3 \cdot 10^{-3}$; - неисключенная систематическая погрешность, кг/м³ - $2,2 \cdot 10^{-2}$. Стандартная неопределенность: - оцененная по типу А, кг/м³ - $9,3 \cdot 10^{-3}$; - оцененная по типу В, кг/м³ - $1,2 \cdot 10^{-2}$; - суммарная стандартная неопределенность, кг/м³ - $1,5 \cdot 10^{-2}$. Расширенная неопределенность (пределы допускаемой абсолютной погрешности эталона) при К=2, кг/м³ - 0,03. При воспроизведении единицы плотности выдерживаются следующие значения параметров жидкости: - температура, оС - от плюс 5 до плюс 70; - максимальное избыточное давление, МПа 10.

Рис. 2 - Государственный эталон единицы плотности жидкости в потоке

Эталон зарегистрирован под номером ВЭТ 18-10-2014 в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений. Заключение Разработанный, аттестованный по нормативным документам [7, 8], эталон в ФГУП «ВНИИР» и утвержденный Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии №519 от 25 апреля 2014г., может применяться для проведения испытаний с целью утверждения типа средств измерений, поверки средств измерений используемых в области измерений плотности жидкости на территории Российской Федерации, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений и рабочих эталонов плотности жидкости в расширенных условиях эксплуатации.