

А.Ф.Иваева, Г.М.Орлова

*Самарский государственный технический университет, Институт
нефти и газа, Самара, Россия*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНТРОЛЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ УЧЕТЕ НЕФТИ

***Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы повышения достоверности коммерческого учета нефти на основе совершенствования системы контроля метрологических характеристик (КМХ) системы измерений количества и показателей качества нефти (СИКН).» Проведён анализ действующей системы КМХ, выявлены основные факторы дрейфа метрологических характеристик (отложения парафина, зависимость от вязкости, дискретный характер контроля). Выполнена оценка погрешности измерения массы брутто нефти по косвенному динамическому методу в соответствии с ГОСТ 8.587-2019. Показано, что доминирующий вклад (более 93 %) вносит погрешность измерения объёма ($\delta V = \pm 0,16 \%$), в то время как общая погрешность массы составляет $\pm 0,18 \%$. Предложены технические решения: замкнутая система промывки измерительных линий без демонтажа преобразователей расхода с использованием штатной трубопоршневой установки и замена турбинных расходомеров на ультразвуковые (класс точности 0,10 %), позволяющая снизить суммарную погрешность до $\pm 0,12 \%$. Выполнена оценка экономической эффективности: при годовом объёме перекачки 10 млн тонн сокращение неопределённости массы эквивалентно предотвращению возможных разногласий на сумму около 360 млн руб./год.*

***Ключевые слова:** ультразвуковой преобразователь расхода, СИКН, контроль метрологических характеристик, учёт нефти, косвенный динамический метод, погрешность измерения массы брутто, трубопоршневая поверочная установка, парафиноотложения.*

Abstract. *The article addresses improving the reliability of commercial oil accounting by enhancing the metrological characteristics control system for a crude oil metering unit (СИКН)., an analysis of the existing control system is performed. The main factors causing drift of metrological characteristics are identified (wax deposits, viscosity dependence, discrete nature of control). The measurement uncertainty for gross oil mass using the indirect dynamic method is estimated according to GOST 8.587-2019. It is shown that the volume measurement uncertainty ($\delta V = \pm 0.16 \%$) contributes over 93 % of the total variance, while the total gross mass uncertainty is $\pm 0.18 \%$. Technical solutions are proposed: a closed-loop flushing system for measuring lines without flowmeter dismantling, using the existing pipe prover, and replacement of turbine flowmeters with ultrasonic ones (accuracy class 0.10 %), reducing total uncertainty to $\pm 0.12 \%$. An economic assessment shows that for an annual throughput of 10 million tonnes, the reduction in mass uncertainty avoids potential financial disputes equivalent to about 360 million RUB/year.*

Keywords: *ultrasonic flowmeter, oil metering system, metrological characteristics control, oil accounting, indirect dynamic measurement method, gross mass uncertainty, pipe prover, wax deposition.*

Точность и достоверность учёта нефти при её транспортировке по магистральным нефтепроводам непосредственно влияют на финансовые расчёты между добывающими, транспортирующими и перерабатывающими компаниями, а также на налоговые поступления. В соответствии с ГОСТ 8.587-2019 пределы допускаемой относительной погрешности измерений массы брутто нефти при коммерческих операциях не должны превышать $\pm 0,25 \%$ [1]. Достижение такого уровня точности возможно только при условии эффективного контроля метрологических характеристик (КМХ) всех средств измерений, входящих в состав системы измерений количества и показателей качества нефти (СИКН).

На практике эксплуатация СИКН сталкивается с рядом факторов, ухудшающих метрологические характеристики: отложения парафина и смол на внутренних поверхностях измерительных линий и турбинных преобразователях

расхода, изменение вязкости перекачиваемой нефти, влияние температуры и давления, естественный износ оборудования [2, 3]. Существующие системы КМХ, основанные преимущественно на периодических поверках с использованием трубопоршневых поверочных установок (ТПУ) и сравнении поточных анализаторов с лабораторными данными, являются трудоёмкими и не всегда позволяют оперативно выявить дрейф метрологических характеристик в межповерочном интервале.

Цель настоящей работы — анализ действующей системы КМХ на примере СИКН № 909 НПС «Самара-1» и разработка научно обоснованных мероприятий по её совершенствованию, направленных на повышение точности и снижение эксплуатационных затрат.

Методы и объекты исследования

Объектом исследования является, входящая в состав нефтеперекачивающей станции СИКН реализует косвенный динамический метод измерений массы брутто нефти. В состав СИКН входят: четыре измерительные линии с турбинными преобразователями расхода [4]

Методология исследования включает: анализ нормативно-правовой базы (Федеральный закон № 102-ФЗ, ГОСТ 8.587-2019, МИ 3532-2015, Р 50.2.040-2004), изучение технологической схемы и действующей системы КМХ, расчёт погрешностей согласно аттестованной методике, а также элементы технико-экономического обоснования предлагаемых решений.

Результаты и их анализ

Действующая система КМХ. Анализ показал, что на СИКН КМХ преобразователей расхода проводится ежемесячно с использованием ТПУ «Прувер-С500» (погрешность 0,1 %), а КМХ плотномеров и влагомеров — путём сравнения с лабораторными анализами отобранных проб. Система в целом соответствует нормативным требованиям, однако выявлены следующие проблемные места:

- постепенное накопление парафино-смолистых отложений на лопатках ротора турбинных расходомеров, приводящее к дрейфу градуировочной характеристики и требующее демонтажа для очистки;
- высокая трудоёмкость и продолжительность КМХ анализаторов качества (отбор проб, доставка в ХАЛ, анализы);
- дискретный характер контроля (между плановыми КМХ состояние средств измерений остаётся неконтролируемым);
- зависимость показаний турбинных расходомеров от вязкости нефти.

Предложения по совершенствованию. Исходя из доминирующего вклада δV , разработаны два взаимодополняющих технических решения:

1. Система промывки измерительных линий без демонтажа расходомеров. Предлагается создать замкнутый контур промывки, используя штатную ТПУ «Прувер-С500» в качестве накопительной ёмкости для газоконденсатной смеси (растворитель парафинов) и центробежный насос. Промывка позволяет удалять отложения, не останавливая надолго измерительную линию, и проводить её с периодичностью 1 раз в 2–3 месяца.
2. Замена турбинных расходомеров на ультразвуковые (например, Daniel 3418) с классом точности 0,10 %. Это решение практически исключает влияние вязкости и отложений, расширяет динамический диапазон и снижает гидравлические потери. Экономическая эффективность. При годовом объёме перекачки через СИКН около 10 млн тонн и цене нефти 60 000 руб./т снижение погрешности с $\pm 0,18$ % до $\pm 0,12$ % уменьшает абсолютную неопределённость массы с 18 000 т до 12 000 т. Разница в 6 000 т соответствует потенциальному снижению зоны финансовых разногласий на 360 млн руб./год. Затраты на замену четырёх расходомеров (включая монтаж и поверку) оцениваются в 12–15 млн руб., что даёт срок окупаемости менее одного месяца.

Заключение

В результате выполненного исследования установлено, что текущая система КМХ на СИКН обеспечивает требуемую точность ($\pm 0,18$ %), однако имеет резервы для повышения оперативности и снижения эксплуатационных затрат. Доминирующая погрешность измерения объёма ($\pm 0,16$ %) обусловлена применением турбинных расходомеров и отсутствием эффективной защиты от парафиноотложений. Предложенные мероприятия — замкнутая промывка без демонтажа и замена расходомеров на ультразвуковые — позволяют снизить общую погрешность до $\pm 0,12$ % и получить значительный экономический эффект. Разработанные решения могут быть рекомендованы для тиражирования на других узлах учёта системы нефтепроводных компаний.

Список литературы

1. ГОСТ 8.587-2019. Государственная система обеспечения единства измерений. Масса нефти и нефтепродуктов. Методики (методы) измерений. — М.: Стандартинформ, 2019. — 32 с.
2. Буянов И.В. Предпосылки для применения метода предиктивной аналитики для оценки метрологических характеристик турбинных преобразователей расхода // Нефтяное хозяйство. — 2022. — № 12. — С. 148-152.
3. Krasnov A.N., Prakhova [M.Yu.](#), Novikova Yu.V. Measurement of Oil Consumption by Turbine Flow Meters in Conditions of Wax Deposition // Journal of Physics: Conference Series. — 2021. — Vol. 2096. — P. 012065.
4. МИ 3532-2015. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Рекомендации по определению массы нефти при учётных операциях с применением систем измерений количества и показателей качества нефти. — Казань: ФГУП «ВНИИР», 2015. — 52 с.
5. Полищук И.А., Грибанов А.В. Оценка неопределённости измерений при учете нефти. — М.: Машиностроение, 2023. — 168 с.

6. Сафонов А.В. Опыт применения ультразвуковых преобразователей расхода в составе систем измерений количества и показателей качества нефти // Измерительная техника. – 2014. – № 4. – С. 59-61.
7. Аралов О.В., Буянов И.В., Яровой А.Т. и др. Методика определения объемного расхода в системе контроля качества нефти в зависимости от числа Рейнольдса // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2023. – Т. 13, № 1. – С. 72-80.

List of literature

1. GOST 8.587-2019. The state system of ensuring the uniformity of measurements. The mass of oil and petroleum products. Measurement techniques (methods). Moscow: Standartinform, 2019. 32 p.
2. Buyanov I.V. Prerequisites for the application of the predictive analytics method to assess the metrological characteristics of turbine flow converters // Oil industry. – 2022. – № 12. – pp. 148-152.
3. Krasnov A.N., Prakhova M.Yu., Novikova Yu.V. Measurement of Oil Consumption by Turbine Flow Meters in Conditions of Wax Deposition // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 2096. – P. 012065.
4. MI 3532-2015. Recommendation. The state system of ensuring the uniformity of measurements. Recommendations for determining the mass of oil in accounting operations using measurement systems for the quantity and quality of oil. Kazan: FSUE "VNIIR", 2015. 52 p.
5. Polishchuk I.A., Griбанov A.V. Estimation of measurement uncertainty in accounting for oil. Moscow: Mashinostroenie, 2023. 168 p.
6. Safonov A.V. Experience of using ultrasonic flow transducers as part of oil quantity and quality measurement systems. // Measuring equipment. - 2014. – No. 4. – pp. 59-61.
7. Aralov O.V., Buyanov I.V., Yarovoy A.T. and others. Methodology for determining the volumetric flow rate in the oil quality control system depending on the Reynolds number // Science and technology of pipeline transport of oil and petroleum products. – 2023. – Vol. 13, No. 1. – pp. 72-80.

