

А.С. Белоусов

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПОВЕРКИ ВТОРИЧНОЙ АППАРАТУРЫ УЗЛОВ УЧЕТА НЕФТИ

В статье проведен анализ метрологических средств поверки измерительной аппаратуры при учете транспорта нефтепродуктов. Особое внимание уделено поверке вторичных средств калибраторами. На основе анализа сформулированы требования к современным средствам поверки аппаратуры узлов учета нефти. Сделан вывод о необходимости проведения исследований на реальных объектах с привлечением статистики.

Поверка, вторичная аппаратура, узлы учета, нефть.

На сегодняшний день значительное внимание уделяется метрологии, а в сфере учета нефтепродуктов вопросы точности и достоверности результатов всегда являлись ключевыми. Обеспечение систем коммерческого учета нефтепродуктов высокоточными средствами измерений за счет снижения количества «неучтенного» продукта становится выгодным как принимающей и сдающей стороне, так и экономике государства в целом, позволяя повысить уровень рентабельности нефтяных компаний. С другой стороны, наладка, калибровка и поверка такого оборудования требует больших затрат, специальных образцовых средств измерений и обученного персонала, аккредитованного на данные действия [1, 2].

При коммерческом учете для измерений массы товарной нефти, транспортируемой по трубопроводам, пользуются прямым методом динамических измерений либо косвенным. При прямом методе динамических измерений массу продукта измеряют при помощи массомера, и результат получают непосредственно. При косвенном методе динамических измерений массу продукта определяют по результатам измерений: плотности, давления, температуры, объема продукта. Результаты измерений плотности и объема продукта приводят к стандартным условиям [3]. Как при прямом, так и при косвенном методе измерений, помимо массы продукта, проводят измерения качественных показателей: плотности, температуры, давления, влагосодержания, содержания свободного газа, серы или других солей и примесей. Таким образом, системы измерений узлов коммерческого учета нефти насчитывают большое количество входных аналоговых сигналов, а также дискретных сигналов постоянного оборудования и сигналов управления. Для обработки поступающих на входы измерительной системы сигналов применяются измерительно-вычислительные комплексы (далее ИВК). ИВК завершает измерительные преобразования, производит вычислительные и логические операции, предусмотренные процессом измерений и алгоритмами обработки результатов измерений, а также вырабатывает выходные сигналы системы [4].

Рынок современного промышленного оборудования позволяет строить ИВК различной конфигурации, полностью удовлетворяющей потребности заказчика. В России производством, монтажом, наладкой и обслуживанием ИВК узлов учета нефти занимаются такие предприятия, как ЗАО «ИМС», г. Москва, ООО «Прайм Групп», г. Москва, ИПФ «Вектор», г. Тюмень, ПК «Помощь», г. Тюмень.

Несмотря на различные подходы при построении ИВК узла учета нефти, они выполняют одни и те же функции и имеют сходные характеристики. В частности, нормируемые метрологические характеристики измерительных каналов ИВК, построенных на разных технических средствах, имеют сходные значения, а следовательно, для поверки используется одинаковый набор устройств (либо устройств с теми же или лучшими метрологическими характеристиками).

Согласно методикам для поверки ИВК [5, 6, 7] узлов учета товарной нефти применяются следующие средства:

- генератор сигналов низкочастотный измерительный ГЗ 053, диапазон частот — от 10 Гц до 100 кГц;
- частотомер электронно-счетный ЧЗ-88, диапазон частот входных сигналов — от 0,1 Гц до 200 МГц;
- магазин сопротивлений типа Р-33, кт 0.2;
- образцовая катушка сопротивления 100 Ом типа РЗЗ1, кт 0.01;
- универсальный вольтметр В7-16, диапазон измерений — 0–1000 В.

Такой набор образцовых средств измерений является достаточно дорогостоящим и неудобным при эксплуатации. В связи с этим были разработаны и введены в эксплуатацию специализированные калибраторы — устройства для поверки вторичной аппаратуры узлов учета нефти.

Принцип действия калибраторов основан на воспроизведении аналоговых, частотно-импульсных и дискретных сигналов, имитирующих сигналы, поступающие на входы измерительно-вычислительных комплексов, контроллеров и систем АСУ от измерительных преобразователей средств измерений, входящих в состав систем учета энергоносителей: преобразователей объемного и массового расходов, плотности, вязкости, температуры, давления, содержания воды, трубопоршневых поверочных установок и компакт-пруверов. Кроме вышеперечисленного, такие калибраторы позволяют измерять аналоговые и частотно-импульсные сигналы [8].

Перечень сигналов, генерируемых и измеряемых калибраторами узлов учета нефти, можно классифицировать на две группы: аналоговые и частотно-импульсные. Аналоговые подразделяются на сигналы по току и напряжению. В свою очередь, частотно-импульсные делятся на сигналы по частоте, периоду и пачке импульсов.

В качестве токового сигнала применяется стандартный унифицированный канал передачи силы постоянного тока, с диапазоном 4–20 мА [9]. Для обеспечения калибровки и поверки оборудования диапазон расширен до значений 0–22 мА. Каналы передачи сигнала по уровню напряжения используются в современных системах АСУ ТП достаточно редко, однако конструкция некоторых калибраторов предусматривает генерацию и/или измерение напряжения постоянного тока в диапазоне 0–10 В.

Для передачи частотно-импульсных сигналов применяется прямоугольный меандр различной амплитуды и частоты. Разнообразие средств измерений определяет большое количество уровней напряжения и диапазона частот, используемых при поверке и калибровке. В большинстве случаев достаточным диапазоном амплитуды выходного частотного сигнала является диапазон 1–24 В, а наиболее распространенный диапазон частоты — 10–10000 Гц [10].

Для имитации работы трубопоршневой поверочной установки используется частотный канал с передачей фиксированного количества импульсов и дискретными сигналами начала и окончания передачи. Параметры частоты и амплитуды выходного сигнала в данном случае совпадают с параметрами для частотного канала, а количество импульсов в пачке может достигать 1 млн.

Дискретные сигналы начала и окончания передачи чаще всего выполняются при помощи гальванической развязки, по принципу «сухой контакт».

Для сравнения характеристик различных калибраторов были выбраны несколько вариантов специализированных устройств поверки вторичной аппаратуры узлов учета, а также универсальных калибраторов промышленных процессов. Среди российских производителей представлены устройства: КИК-М, производство ООО «Корпорация БАСК», г. Уфа; УПВА-Т, производство ООО «Корпорация ИМС» [11], г. Москва; УПВА-Эталон, производство ОАО «Нефтеавтоматика», г. Уфа [12]. Из зарубежных устройств выбраны: прецизионный многофункциональный калибратор процессов Fluke 726, производство Fluke, США [13] и универсальный калибратор промышленных процессов, Китай, выпускаемый под маркой АК ИП-7301 в России (ЗАО ПриСТ) [14]. Все приборы внесены в государственный реестр средств измерений и имеют необходимые разрешения.

Начнем рассмотрение устройств с их возможностей. Наиболее важной функцией является воспроизведение различных типов сигналов. Анализ доступности моделирования сигналов представлен в табл. 1.

Таблица 1

Наличие возможности воспроизведения основных типов сигналов среди сравниваемых устройств

Тип моделируемого сигнала	КИК-м	УПВА-Т	УПВА-Эталон	Fluke 726	АКИП-7301
Сила постоянного тока	+	+	+	+	+
Напряжение постоянного тока	—	—	—	+	+
Сопротивление	—	—	—	+	+
Частота	+	+	+	+	+
Пачка импульсов	+	+	+	+ (отсутствуют дискретные сигналы Старт/Стоп)	+ (отсутствуют дискретные сигналы Старт/Стоп)
Статические характеристики термодпар и термометров сопротивления	—	—	—	+	+
Управление (коммутация) внешней цепи	—	—	—	—	+

Данная таблица позволяет сделать вывод, что калибраторы промышленных процессов имеют более широкий набор функций по генерации различных типов сигналов, однако не обеспечивают специализированных функций, необходимых для имитации оборудования типа ТПУ/прувера.

Продолжим сравнение и рассмотрим возможности измерения основных типов сигналов (табл. 2).

Таблица показывает, что калибраторы промышленных процессов позволяют проводить не только моделирование, но и измерение сигналов, причем в большинстве случаев можно одновременно проводить моделирование и контроль различных параметров, УПВА данной возможностью не обладают.

Исходя из данных о возможностях моделирования и измерения сигналов, рассмотрим диапазоны, в которых эти функции приборов доступны (табл. 3).

Анализ диапазонов работы различных устройств показывает их схожесть в измерении и воспроизведении аналоговых сигналов: силы и напряжения постоянного тока. Частотные диапазоны для приборов типа УПВА

расширены, что указывает на специфику работы с оборудованием узлов учета.

Таблица 2

Наличие возможности измерения различных типов сигналов среди сравниваемых устройств

Тип измеряемого сигнала	КИК-м	УПВА-Т	УПВА-Эталон	Fluke 726	АКИП-7301
Сила постоянного тока	+	+	—	+	+
Напряжение постоянного тока	+	—	—	+	+
Сопротивление	—	—	—	+	+
Частота	+	+	+	+	+
Пачка импульсов	+	+	+	—	—
Статические характеристики терморпар и термометров сопротивления	—	—	—	+	+

Таблица 3

Диапазоны моделирования и измерения основных типов сигналов среди сравниваемых устройств

Тип измеряемого сигнала	КИК-м	УПВА-Т	УПВА-Эталон	Fluke 726	АКИП-7301
Сила постоянного тока (воспроизведение), мА	0–24	0,5–22	0,5–20	0–24	0–22
Сила постоянного тока (измерение), мА	0–24	0,5–22	—	0–24	-5–50
Напряжение постоянного тока (воспроизведение), В	—	—	—	0–20	-1–11
Напряжение постоянного тока (измерение), В	0–30	—	—	0–30	0–50
Частота следования импульсов (воспроизведение), Гц	От 5 до $1 \cdot 10^6$	От 0,1 до $1,5 \cdot 10^4$	От 1 до $1 \cdot 10^4$	От 0,03 до $1,5 \cdot 10^4$	От 1 до $1 \cdot 10^5$
Частота следования импульсов (измерение), Гц	От 1 до $1 \cdot 10^6$	От 0,1 до $1,5 \cdot 10^4$	От 1 до $1 \cdot 10^4$	От 0,03 до $1,5 \cdot 10^4$	От 2 до $1 \cdot 10^4$
Количество импульсов в пачке (воспроизведение), имп	От 1 до $5 \cdot 10^6$	От 10 до $5 \cdot 10^8$	От 1 до $16 \cdot 10^6$	От 1 до $1 \cdot 10^6$	От 10 до $1 \cdot 10^4$
Сопротивление (воспроизведение), Ом	—	—	—	5–4000	0–40000
Сопротивление (измерение), Ом	—	—	—	5–4000	0–5000

Для проведения дальнейшего обзора различных типов калибраторов рассмотрим их метрологические характеристики. Согласно описаниям типов средств измерений, пределы допускаемой погрешности для воспроизведения и измерения силы постоянного тока и напряжения постоянного тока нормируются абсолютной погрешностью. Также абсолютной погрешностью нормируется количество импульсов в пачке как при измерении, так и при генерации сигналов. Частота и период следования импульсов нормируется предельно допустимой величиной относительной погрешности.

Сводные данные по погрешностям основных типов сигналов представлены в табл. 4.

По данным о пределах допустимых погрешностей, можно сделать вывод, что прибор для поверки вторичной аппаратуры КИК-м имеет лучшие метрологические характеристики. Для прибора типа АКИП-7301 погрешность воспро-

изведения количества импульсов в пачке слишком высока; таким образом, этот прибор не может быть использован в качестве образцового для указанного вида сигнала.

Таблица 4

Погрешности воспроизведения и измерения основных типов сигналов среди сравниваемых устройств

Тип сигнала	КИК-м	УПВА-Т	УПВА-Эталон	Fluke 726	АКИП-7301
Сила постоянного тока (воспроизведение), мкА	±3,0	±3,0	±3,0	±4,4*	±7,4*
Сила постоянного тока (измерение), мкА	±10	±3,0	—	±4,4	±10
Напряжение постоянного тока (воспроизведение), мВ	—	—	—	±20	±50
Напряжение постоянного тока (измерение), мВ	±10	—	—	±20	±50
Частота и период следования импульсов (воспроизведение), %	±1·10 ⁻⁴	±5·10 ⁻⁴	±1·10 ⁻³	±5·10 ⁻²	±2·10 ⁻²
Частота и период следования импульсов (измерение), %	±1·10 ⁻⁴	±5·10 ⁻⁴	—	±5·10 ⁻²	±2·10 ⁻²
Количество импульсов в пачке (воспроизведение), имп	±1	±2	0		До 100**
Количество импульсов в пачке (измерение), имп	±1	—	—	—	—

* Абсолютная погрешность приборов рассчитана из относительной погрешности на сравниваемом диапазоне измерения.

** Абсолютная погрешность количества импульсов в пачке нормируется от 1 до 100 в зависимости от диапазона. При количестве импульсов более 1000 в пачке допустимая абсолютная погрешность составляет ±100 имп.

Отдельным вопросом для устройств, являющихся образцовыми средствами измерений, становятся их показатели надежности и стабильности. В то же время эти характеристики напрямую связаны с ремонтпригодностью оборудования, а также с вопросами их настройки, калибровки, поверки. Надежность устройств характеризует их способность сохранять во времени в установленных пределах все параметры, обеспечивающие выполнение требуемых функций в заданных условиях эксплуатации.

Исходя из опыта работы с рассматриваемой группой оборудования, следует отметить возникающие сложности. Тяжелые условия эксплуатации и транспортировки, в частности, повышенные вибрации и влияние низких температур, скачки напряжения питающей цепи и другие, могут приводить к различного рода отказам устройств, в том числе с утратой работоспособности. Восстановление оборудования до исправного состояния в этом случае производится на предприятии-изготовителе, что является достаточно долгим и дорогостоящим процессом. Отсутствие модульной структуры (а в случае ее присутствия невозможность самостоятельной замены модуля) проявляется в повышении стоимости ремонта. Отсутствие возможности калибровки при поверке устройств приводит к ухудшению метрологических характеристик и работе каналов на границе погрешности, а под действием влияющих факторов возможно и превышение нормируемой погрешности каналов.

Стабильность приборов согласно техническим описаниям не нормируется и на практике контролируется при очередных поверках.

При поверке и калибровке сложных измерительных систем (измерительно-вычислительные комплексы, контроллеры с большим числом и различными типами сигналов) немаловажное значение имеет удобство при работе с образцовым прибором. Основными факторами в этом отношении становятся: портативность, автономность, наличие нескольких каналов для моделирования и/или измерения, а также возможность одновременной работы с ними.

Для сравнения эксплуатационных характеристик зададимся следующими критериями:

- возможность одновременного воспроизведения/измерения величины и количество одновременно используемых каналов;
- тип и напряжение питания;
- габаритные размеры;
- пыле- и влагозащита, а также искробезопасность и взрывозащищенность;
- возможность подключения и передачи данных на ПК.

Сравнение по эксплуатационным характеристикам приведено в табл. 5.

Таблица 5

**Эксплуатационные характеристики устройств
для поверки вторичной аппаратуры и универсальных калибраторов**

Критерий	КИК-м	УПВА-Т	УПВА-Эталон	Fluke 726	АКИП-7301
Одновременная работа нескольких каналов	воспроизведение + измерение	—	воспроизведение + измерение	воспроизведение + измерение	воспроизведение + измерение
Тип и напряжение питания	От сети 220 В	От сети 220 В	От сети 220 В	4 батареи/аккумулятора типа АА	4 батареи/аккумулятора типа ААА
Габаритные размеры (Д×Ш×В, см)	30×25×12	30×27×12	32×30×12	20×10×5	20×10×5
Пыле-влагозащита	IP67	IP67	IP54	IP66	IP66
Искро- взрывозащита	—	—	—	Искробезопасная цепь в спец. исполнении	—
Подключение к ПК	+	—	—	Встроенные функции анализа и обработки	—

Кроме рассмотренных технических и эксплуатационных характеристик, существенную роль при выборе средства для поверки вторичной аппаратуры играет ценовой фактор устройств. По стоимости в порядке возрастания сравниваемые приборы расположены следующим образом:

- АКИП 7301;
- FLUKE 726;
- УПВА Эталон;
- КИК-М;
- УПВА-Т.

При этом цены на УПВА различных исполнений существенно не отличаются, а цена на универсальные калибраторы в разы ниже.

При рассмотрении специализированных устройств для поверки вторичной аппаратуры узлов учета нефти и универсальных калибраторов были выявлены следующие преимущества каждой группы оборудования.

УПВА имеют более высокую точность и специализированные функции для работы с ТПУ. Универсальные калибраторы в свою очередь позволяют производить измерение и генерацию сопротивления и характеристик термо-

пар, а также имеют более компактное исполнение и возможность автономной работы.

К недостаткам УПВА можно отнести завышенную стоимость, отсутствие возможности автономной работы, отсутствие возможности передачи данных на ПК и автоматизированной обработки, сложности ремонта и калибровки. Недостатками универсальных калибраторов являются: неполная точность измерения и воспроизведения сигналов, узкий интервал диапазона воспроизведения и измерения частотных сигналов.

В дополнение к вышесказанному следует заметить, что выпускаемые в настоящее время устройства для поверки вторичной аппаратуры узлов учета нефти были разработаны достаточно давно и до настоящего времени не получили заметного обновления, а современные схемотехнические решения позволяют строить более доступные по цене, а также более точные устройства. Программное обеспечение современных устройств дает возможность более эффективно контролировать работу прибора, обрабатывать и предоставлять пользователю информацию, а также обеспечивает удобный и наглядный пользовательский интерфейс.

Таким образом, оценивая преимущества и недостатки различных типов приборов для поверки вторичной аппаратуры, можно сделать вывод о целесообразности разработки современного устройства, включающего в себя лучшие качества существующих приборов, дополненные современными решениями, а также сочетающего в себе простоту, надежность и удобство в работе.

Использование такого прибора является актуальным вопросом как для обслуживающих организаций в сфере нефтяной промышленности, так и для центров стандартизации и метрологии, нуждающихся в подобном оборудовании.

В заключение сформируем требования для современного устройства поверки вторичной аппаратуры узлов учета нефти, обеспечивающего все необходимые функции.

Обязательным требованием является обеспечение воспроизведения и измерения:

- силы постоянного тока в диапазоне 0,5–22 мА с абсолютной погрешностью не более ± 3 мкА;
- напряжения постоянного тока в диапазоне 0–10, с абсолютной погрешностью не более ± 20 мВ;
- частоты в диапазоне 10–10000 Гц, с относительной погрешностью не более $\pm 1 \cdot 10^{-4}$ %;
- пачки импульсов с количеством импульсов $10-5 \cdot 10^8$ и абсолютной погрешностью не более ± 1 имп.;
- сопротивления 1–4000 Ом, с относительной погрешностью не более $\pm 0,1$ %.

Другими обязательными требованиями являются:

- обеспечение надежности, со средней наработкой на отказ не менее 10000 часов;
- обеспечение и контроль стабильности как на межповерочных интервалах, так и при длительной непрерывной работе;
- минимизация действия влияющих факторов на результаты измерений;
- наличие дискретных сигналов «старт/стоп» для начала/окончания пачки импульсов;
- возможность работы как автономно от аккумуляторов, так и от сети 220 В;
- возможность связи с ПК для передачи информации, настройки, калибровки.

Необязательными, но желательными требованиями являются:

- модульная структура с возможностью изменения количества каналов каждого назначения (гибкая конфигурация устройства);
- обеспечение самодиагностики устройства;
- поддержка активного и пассивного токового выхода;

Соответствие разрабатываемого устройства указанным выше требованиям позволяет создать универсальный образцовый прибор для широкого спектра поверяемого оборудования. Особое внимание при разработке устройства уделяется вопросам надежности, стабильности и точности, а также связанными с ними исследованиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трилохан Гупта. Нефть на учете // «ИСУП». 2012. № 6.
2. Ханов Н.И. Роль метрологии в решении проблем нефтяного комплекса страны // ВНИИМ им. Д.И. Менделеева.
3. ГОСТ Р 8.595-2004. ГСИ. Масса нефти и нефтепродуктов. Общие требования к методикам выполнения измерений.
4. ГОСТ Р 8.596-2002. ГСИ. Метрологическое обеспечение измерительных систем. Основные положения.
5. Рекомендация. ГСИ. «Комплексы измерительно-вычислительные "ПРАЙМ-ИСКРА". Методика поверки».
6. Рекомендация. ГСИ. «Комплекс измерительно-вычислительный ИМЦ-03. Методика поверки».
7. Инструкция. ГСИ. «Комплекс измерительно-вычислительный "ОКТОПУС-Л". Методика поверки».
8. КИК-М. Описание типа средств измерений для государственного реестра.
9. Унифицированные сигналы. Методические указания // Контроль и автоматика.
10. Энциклопедия АСУ ТП. электронный портал. <http://bookasutp.ru/>
11. УПВА-Т. Описание типа средств измерений для государственного реестра.
12. УПВА-Эталон. Описание типа средств измерений для государственного реестра.
13. Fluke 726. Описание типа средств измерений для государственного реестра.
14. АК ИП-7301. Описание типа средств измерений для государственного реестра.
15. КИК-М. Руководство по эксплуатации.
16. УПВА-Т. Руководство по эксплуатации.
17. УПВА-Эталон. Руководство по эксплуатации.
18. Fluke 726. Руководство по эксплуатации.
19. АК ИП 7301. Руководство по эксплуатации.

A.S. Belousov

Review of modern Hardware for calibration of secondary equipment oil metering units

Examines the current standards and methods of calibration for secondary equipment in the area of petroleum products. Presents an analysis existing hardware, acting as reference measuring instrument for verification. Performed analysis of the advantages and disadvantages of the various devices. A list of requirements for the development of the modern instrument of this type formed.

Calibration device, measuring instrument, oil metering, verification.