

Ю.Б. ДУБАСОВ
канд. техн. наук,
(ЗАО “Альбатрос”)

Yu.B. DUBASOV

Взрывобезопасные измерительные системы и комплексы для объемного и массового учета нефтепродуктов

Рассматриваются назначение, общее устройство, состав и особенности работы измерительных систем и комплексов для объемно-массового учета нефтепродуктов во взрывоопасных условиях. Приводятся сравнительные технические данные и метрологические характеристики рассматриваемых систем. Уделяется внимание способам их интегрирования в состав других автоматизированных систем. В качестве примеров приведен ряд реализованных проектов на базе указанных измерительных систем и комплексов в нефтедобывающей, нефтехимической и авиационной отраслях промышленности.

Ключевые слова: измерительные системы ГАММА, “Альбатрос ТанкСупервайзер”, ДУУ4МА.

В настоящее время процессы учета нефти и нефтепродуктов достаточно строго регламентирует ряд руководящих документов, среди которых наиболее популярным считается ГОСТ Р 8.595-2004. Это неудивительно, так как в нем рассматриваются все методы измерения и их характерные погрешности касательно массы нефти и нефтепродуктов.

Процесс учета можно разделить на три основных этапа: приемка, хранение и отпуск продукта. Если в технологии объекта, в основном, присутствуют первый и третий этапы, то неоспоримое преимущество имеют прямой и косвенный методы динамических измерений, так как пределы допускаемой погрешности, определенные в [1] вдвое и более раз меньше, чем у методов измерения, основанных на гидростатическом принципе. В таких условиях (характерно для АЗС) учет нефтепродуктов в резервуарах носит резервный характер, а основным является применение поточных массометров и плотномеров.

Иначе решается задача учета, когда в регламенте функционирования объекта превалирующим этапом является этап хранения продукта. Здесь количественный учет динамическими методами затруднен и неэффективен, т. к. требует наличия запасных резервуаров и необходимости регулярной перекачки жидкости из одной емкости в другую. Поэтому остается только способ контроля состояния продукта в резервуаре хранения. В этом случае необходимым условием процедуры учета является аттестация резервуаров, как мер вместимости. Существует и еще ряд ограничений в применении динамических методов:

- очень высокая стоимость поточных массометров;
- неоднородный состав учитываемого продукта (это, в первую очередь, относится к растворенным в продукте воде и газу и характерно для процессов подготовки и переработки нефти).

Explosion-proof measuring systems and complexes for volumetric and mass flowmetering of oil products

Destination, structure, components and operation features of measuring systems and complexes for volumetric and mass flowmetering in explosive environments are overviewed, their comparative engineering data and measurement performance are examined. The ways of their integration with other automation systems are discussed. Several case studies of the projects based on these systems and complexes for oil production, petrochemical and aircraft industries are included.

Keywords: GAMMA measuring system, Albatros TankSupervisor; DUU4MA.

В условиях хранения нефтепродукта или его неоднородного состава наиболее практичным с точки зрения затрат и точности количественного учета является метод определения массы, основанный на гидростатическом принципе. Прозрачная и понятная схема вычисления массы (давление столба жидкости, деленное на уровень, дает интегральную плотность, что в купе с градуировочной таблицей однозначно определяет массу продукта) облегчает разрешение учетных споров, эксплуатацию оборудования и диагностику неисправностей.

Системы измерительные ГАММА для объемного учета на базе контроллера ГАММА-10М (см. рис. 1) предназначены для измерения уровней различных жидких продуктов, а также измерения температуры контролируемой среды в одной или нескольких точках (в зависимости от типа подключенных датчиков), коррекции измеряемых датчиками уровней с учетом

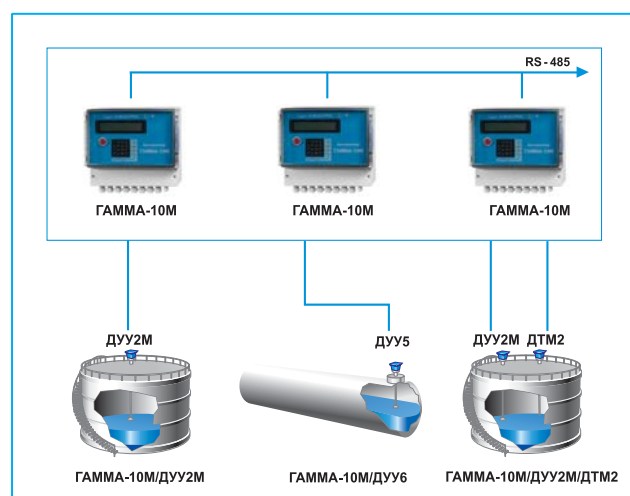


Рис. 1. Структурная схема измерительной системы ГАММА.

www.asucontrol.ru

температуры контролируемой жидкости и вычисления объема жидкости с использованием градуировочных таблиц резервуаров с индикацией измеренных параметров на встроенном индикаторе, а также возможностью осуществления цифрового обмена по последовательному интерфейсу с ЭВМ верхнего уровня.

Системы выпускаются в следующих исполнениях:

- система измерительная ГАММА-10М/ДУУ5 (исполнение 0) в составе:
 - контроллер ГАММА-10М исполнение 1 – 1 шт.;
 - датчики уровня ультразвуковые ДУУ5 – от 1 до 8 шт.;
- система измерительная ГАММА-10М/ДУУ2 (исполнение 1) в составе:
 - контроллер микропроцессорный ГАММА-10М, исполнение 2 – 1 шт.;
 - датчики уровня ультразвуковые ДУУ2М-10-1 – от 1 до 4 шт.;
- система измерительная ГАММА-10М/ДУУ2/ДТМ2 (исполнение 2) в составе:
 - контроллер микропроцессорный ГАММА-10М, исполнение 3 – 1 шт.;
 - датчики уровня ультразвуковые ДУУ2М-10-0 – от 1 до 4 шт.;
 - датчики температуры многоточечные ДТМ2-1 – от 1 до 4 шт.

Функции, выполняемые системами в зависимости от исполнения.

Система ГАММА-10М/ДУУ5 обеспечивает:

- измерение уровней жидкостей в резервуарах датчиками ДУУ5 (до восьми точек измерения);
- измерение температуры жидкости в резервуарах датчиками ДУУ5 (до восьми точек измерения);
- коррекцию, измеряемых датчиками уровней с учетом температуры контролируемой жидкости;
- вычисление объема жидкости в резервуарах с использованием градуировочных таблиц резервуаров.

Система ГАММА-10М/ДУУ2 обеспечивает:

- измерение уровней жидкости в резервуарах датчиками ДУУ2М-10-1 (до четырех точек измерения);
- измерение температуры жидкости в резервуарах датчиками ДУУ2М-10-1 (до четырех точек измерения);
- коррекцию, измеряемых датчиками уровней с учетом температуры контролируемой жидкости;
- вычисление объема жидкости в резервуарах с использованием градуировочных таблиц резервуаров.

Система ГАММА-10М/ДУУ2/ДТМ2 обеспечивает:

- измерение уровней жидкости в резервуарах датчиками ДУУ2М-10-0 (до четырех точек измерения);
- измерение температуры среды в резервуарах датчиками ДТМ2-1 (до четырех каналов измерения, при этом в каждом канале до 16 точек измерения температуры);
- коррекцию, измеряемых датчиками ДУУ2М-10-0 уровней с учетом температур, измеряемых датчиками ДТМ2-1;

- вычисление объема жидкости в резервуарах с использованием градуировочных таблиц резервуаров.

Подробно составные части системы ГАММА (датчики и контроллеры) рассмотрены в [2]. Отличия между системами ГАММА заключаются в следующем.

Система ГАММА-10М/ДУУ5 в силу ограничений по длине датчика (до 4 м) применяется на горизонтальных емкостях. В качестве элемента коррекции по температуре данных градуировочной таблицы контролируемой меры вместимости выступает термометр датчика ДУУ5. При небольших высотах резервуаров имеющий место возможный градиент температуры по вертикали не оказывает существенного влияния. Кроме того, в большинстве случаев контролируемые емкости являются подземными, и актуальность вертикального температурного мониторинга отсутствует.

Системы ГАММА-10М/ДУУ2 и ГАММА-10М/ДУУ2/ДТМ2 используются на вертикальных резервуарах высотой, превышающей 8–10 м. Отличие одной системы от другой указано в названии системы и заключается в наличии или отсутствии в составе системы датчика ДТМ2. Этот датчик позволяет реализовать измерение температуры по всей высоте емкости, тем самым, точнее определить изменение геометрических размеров резервуара. Поэтому система ГАММА-10М/ДУУ2/ДТМ2 имеет более высокие метрологические характеристики по определению объема жидкости. Правда, и стоит она дороже на величину стоимости входящих в состав датчиков ДТМ2.

Основные технические данные и метрологические характеристики приведены в сводной таблице.

Параметры контролируемой среды:

- рабочее избыточное давление не более 2 МПа для датчиков ДУУ5, не более 0,15 МПа для датчиков ДУУ2М-10-0, ДУУ2М-10-1 и ДТМ2-1;
- рабочий диапазон изменений температуры среды от –45 до 65 °С;
- плотность жидкости 600...1500 кг/м³;
- вязкость жидкости не ограничивается при отсутствии застывания контролируемой среды на элементах конструкции датчиков и отсутствии отложений на датчиках, препятствующих перемещению поплавка.

Комплексы измерительные автономные для определения плотности и массы светлых нефтепродуктов “ДУУ4МА” (далее ДУУ4МА), в зависимости от комплектации, предназначены для измерения уровня различных жидких продуктов и уровней раздела сред многофазных жидкостей, а также измерения температуры, давления, объема, плотности и массы контролируемой среды.

ДУУ4МА может осуществлять:

- контактное автоматическое измерение уровня жидких продуктов;
- контактное автоматическое измерение до четырех уровней раздела несмешиваемых жидких продуктов;
- измерение температуры контролируемой среды;
- измерение давления контролируемой среды;

Основные технические и метрологические характеристики систем и комплексов количественного учета

Наименование параметра	Системы измерительные ГАММА			Комплекс измерительный автономный ДУУ4МА		Система измерительная Альбатрос Танк Супервайзер
	исп. 0	исп. 1	исп. 2	ДУУ2М	ДУУ6	
Диапазон измерения уровня, м	до 4	до 25	до 25	до 25	до 6	до 6
Нижний неизмеряемый уровень, мм	до 3	до 3	до 3	до 3	до 3	до 3
Верхний неизмеряемый уровень, не более мм	250	250	250	250	242	242
Абсолютная основная погрешность измерения уровня, мм	±1	±3	±3	±3	±1	±1
Абсолютная основная погрешность измерения уровня раздела, мм	–	–	–	±5	±5	–
Абсолютная погрешность измерения температуры, °С	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5
Относительная погрешность измерения объема, %	±0,35	±0,35	±0,18	±0,35	±0,18	±0,18
Основная погрешность измерения гидростатического давления, %	–	–	–	–	±0,1	±0,1
Относительная погрешность измерения плотности, %	–	–	–	–	до ±0,3	±0,4
Относительная погрешность измерения массы, %	–	–	–	–	от ±0,4 до ±2,6	±0,5 свыше 120 т ±0,65 до 120 т
Количество контролируемых резервуаров	до 8	до 4	до 4	1	1	до 108
Количество выходов управления	–	–	–	6	6	–
Сетевой интерфейс	RS-485, Modbus RTU					

- измерение объема контролируемой среды по градуировочной таблице резервуара (в рабочих условиях и приведенного к 15 °С);

- измерение плотности контролируемой среды (в рабочих условиях и приведенной к 15 °С);

- измерение массы контролируемой среды;

- индикацию измеренных значений параметров и ввод настроек;

- формирование четырех токовых сигналов в диапазонах 0...20, 0...5 и 4...20 мА, в величине которых содержится информация о значениях измеренных параметров;

- управление внешними устройствами посредством двух изолированных ключей с выходом типа “сухой контакт” с программируемыми привязками, пороговыми и гистерезисами срабатывания;

- связь с ЭВМ верхнего уровня посредством последовательного интерфейса RS-485 в формате протокола Modbus RTU.

ДУУ4МА состоит из блока сопряжения с датчиком БСД4 и одного из следующих датчиков:

- датчика уровня ультразвукового ДУУ2М, обеспечивающего измерение текущих значений уровней, уровней раздела сред, температуры, давления;

- датчика уровня ультразвукового ДУУ6, обеспечивающего измерение те-

кущих значений уровня, температур, гидростатического давления.

ДУУ4МА в комплекте с ДУУ2М решает задачи объемного учета аналогично системам ГАММА, обладая дополнительными функциями: четырехканальным токовым интерфейсом и парой силовых ключей для управления внешними устройствами.

ДУУ4МА (см. рис. 2) в комплекте с датчиком ДУУ6 (ДУУ6-1) производит измерение уровня продукта, уровня подтоварной воды, температуры и давления гидростатического столба вычисление текущих значений плотности, массы брутто, массы нетто и приведенных

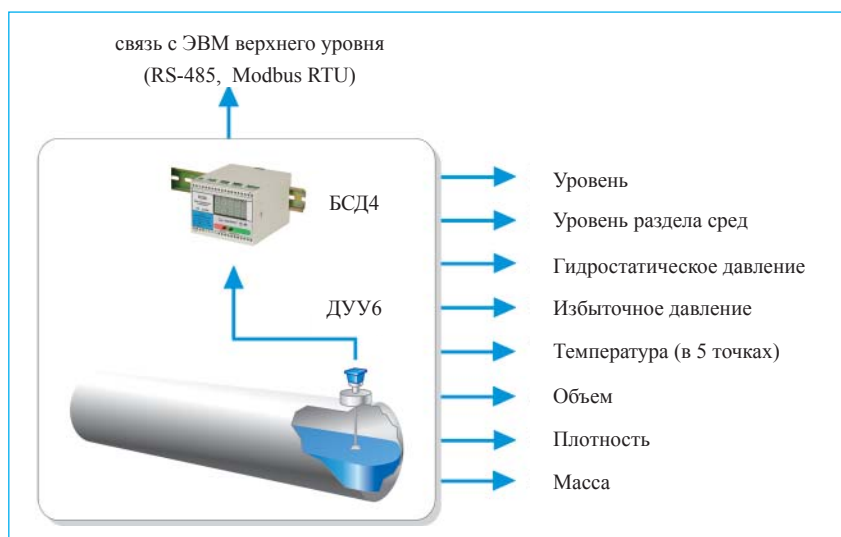


Рис. 2. Схема построения измерительного автономного комплекса для определения плотности и массы жидкости ДУУ4МА-(ДУУ6).

к нормальным условиям значений объема и плотности. Измерение уровня продукта основано на измерении времени распространения в стальной проволоке короткого импульса упругой деформации. Гидростатическое давление столба контролируемого жидкого продукта представляет собой разность давлений, измеренных нижней и верхней ячейками давления. По результатам измерения уровня и гидростатического давления блок БСД4 по градуировочным таблицам меры вместимости в соответствии с [1] вычисляет плотность и массу брутто. Кроме того, блок имеет возможность принять в качестве собственных настроек массовые доли воды, механических примесей и хлористых солей в продукте. Это позволяет вычислять массу нетто контролируемой жидкости.

Технические данные ДУУ4МА при комплектации датчиками ДУУ2М аналогичны системам ГАММА.

Технические данные ДУУ4МА при комплектации датчиками ДУУ6

- Длина чувствительного элемента – 1500...6000 мм.
- Верхний неизмеряемый уровень – не более 242 мм.
- Нижний неизмеряемый уровень – до 3 мм.

Параметры контролируемой среды:

- рабочее давление в газовой подушке меры вместимости от –5 до 15 кПа;
- рабочая температура контролируемой среды от –40 до +65 °С (при условии незамерзания контролируемой среды);
- плотность контролируемой среды от 650 до 1100 кг/м³;
- скорость изменения уровня контролируемой среды не более 0,01 м/с.

Основные метрологические характеристики приведены в сводной таблице.

Комплекс ДУУ4МА является развитием идеологии количественного учета, заложенной в системах ГАММА. При его разработке была предпринята попытка сохранить достоинства систем и учесть их недостатки. Кроме того, ставилась задача обеспечить небольшие (одна, две меры вместимости) объекты хранения инструментом количественного учета. Достоинством комплекса являются его функциональные способности. В сравнении с системами ГАММА комплекс ДУУ4МА обладает следующим:

- может вести не только объемный, но и массовый учет контролируемой жидкости;
- оснащен аналоговыми и дискретными выходными каналами, что позволяет наделять его функциями управления (дискретная сигнализа-

ция, дискретное и пропорциональное регулирование). Именно выходы комплекса превращают его в полностью автономный прибор;

- конструктивно приспособлен для размещения в шкафах автоматики, традиционно используемых для реализации автоматизированных систем.

Автономный комплекс ДУУ4МА при всей своей привлекательности: компактность, невысокая стоимость, самодостаточность в измерениях и вычислениях, – вместе с тем имеет существенный недостаток. Это касается создания отчетных документов по установленному образцу. Решить эту задачу без применения компьютера нереально, поэтому разработка такой измерительной системы с элементами вычислительной техники была весьма актуальна.

Система измерительная “Альбатрос ТанкСупервайзер” (см. рис. 3) предназначена для измерения массы товарных нефти и нефтепродуктов в мерах вместимости. Результаты измерений, выполненных системой, могут быть использованы для выполнения учётных операций и управления технологическими процессами.

Система обеспечивает автоматическое выполнение измерений и расчет основных параметров продуктов, хранящихся в мерах вместимости: уровня, температуры, давления, плотности, объема, массы.

Система состоит из промышленного компьютера (КП) с установленным специализированным программным обеспечением, источника бесперебойного питания (ИБП), блоков питания изолированных БПИ4 и комплексов измерительных ДУУ6-БСД (далее “комплекс”).

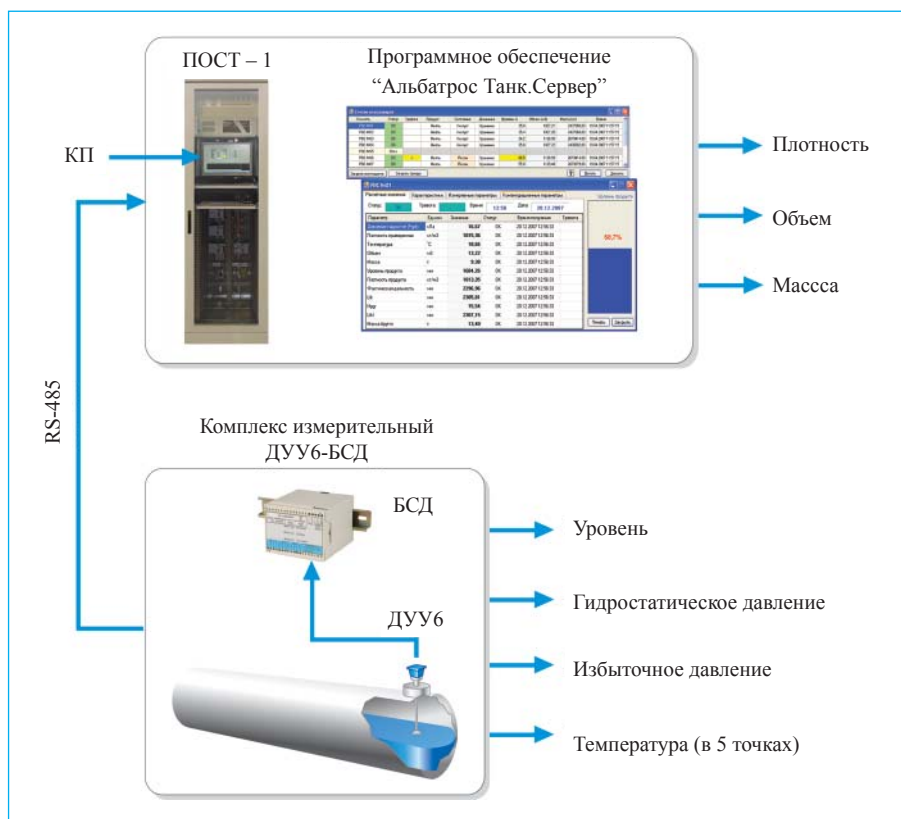


Рис. 3. Структура системы измерительной “Альбатрос ТанкСупервайзер”.

Комплекс состоит из датчиков уровня ультразвуковых ДУУ6 в количестве не более трех и блока сопряжения с датчиками БСД-3.

Количество комплексов определяется при заказе системы, при этом на одном комплексе могут быть реализованы до трех каналов измерения массы (ИКМ).

Конструктивно промышленный компьютер, ИБП, БПИ4 и БСД из состава комплексов интегрированы в пульт оператора стационарный ПОСТ-1 (далее “пульт”), располагающийся в операторной, а датчики из состава комплексов размещаются на контролируемых мерах вместимости.

Количество датчиков (соответствующее числу ИКМ в системе) определяется при заказе системы и не должно превышать 108 штук. Количество БСД-3 из комплекта измерительных комплексов, входящих в состав пульта, должно определяться из расчета возможности подключения к одному БСД, не более трех датчиков.

Функционально система состоит из ИКМ, которые включают в свой состав каналы измерения уровня, гидростатического давления, температуры.

Обработка, хранение и отображение измерительной информации в системе производится программой “Альбатрос Танк.Сервер”, выполняющейся на КП типа IBM PC, входящим в состав пульта.

Программа системы позволяет выполнять измерения одновременно в 108 мерах вместимости.

Система представляет собой программно-технический измерительно-вычислительный комплекс, работающий в автоматическом режиме.

Датчики монтируют с учетом мер вместимости во взрывоопасной зоне. Пульт устанавливают в операторной объекта вне взрывобезопасной зоны. Датчики подключают к пульту с помощью линий связи.

Пульт в своем составе имеет КП, ИБП, БСД и БПИ4.

После включения пульта напряжение питания подается на промышленный компьютер через источник бесперебойного питания и через БПИ4 – на БСД. Датчики начинают выполнять измерения, БСД производят опрос датчиков, а КП производит опрос БСД и обработку измерительной информации. Обмен информацией в системах производится в цифровом виде. Обмен между датчиками и БСД осуществляется по интерфейсу “токовая петля” в формате внутреннего протокола ЗАО “Альбатрос”, а между КП и БСД – по интерфейсу RS-485 в формате протокола Modbus RTU.

После подачи питания на КП происходит загрузка операционной системы (ОС) и запуск программы системы. Программа производит проверку конфигурации и целостности исходных данных системы, тестирование БСД и датчиков, и, при отсутствии ошибок, переходит в рабочий режим работы.

Программа выполняет следующие функции:

- ведение конфигурации системы и объекта;
- ввод и хранение информации о мерах вместимости объекта (наименования и обозначения, типы, виды продуктов, градуировочные таблицы, таблицы коэффициентов объемного расширения продуктов и т. д.);

- ввод и хранение уставок и предельных (аварийных) значений для измеряемых параметров мер вместимости;

- сбор и первичную обработку измерительной информации ИКМ;

- вторичную обработку измерительной информации по адаптивным алгоритмам, обеспечивающим оптимальную компенсацию факторов влияния на измерения;

- отображение измерительной информации в удобном для анализа виде;

- ведение архивов измерительной информации;

- расчет баланса продукта за заданный интервал времени;

- формирование и печать отчетных документов;

- передачу измерительной информации в системы более высокого уровня;

- диагностику технических средств и процессов системы.

Программа функционирует под ОС Microsoft Windows и использует компоненты Microsoft Office.

Основные параметры системы

Система производит измерения:

- уровня, давления гидростатического столба и температуры продукта в мерах вместимости по всем ИКМ в автоматическом режиме;

- массы брутто и нетто продукта в мерах вместимости одновременно по всем ИКМ;

- значений плотности и объема продукта для рабочих условий, а также приведенных к нормальным условиям (+15 °С) по всем ИКМ в автоматическом режиме.

Основные метрологические характеристики приведены в сводной таблице. Конкретное значение погрешности измерений массы продукта, а также минимальный уровень остатка (в режиме хранения) и значение дозы принимаемого (отпускаемого) продукта должны определяться в соответствии с методикой выполнения измерений, разрабатываемой для конкретных условий применения.

Условия эксплуатации и степень защиты датчиков систем и комплексов

Номинальные значения климатических факторов – согласно ГОСТ 15150 для климатического исполнения ОМ1,5, но при этом значения следующих факторов устанавливают равными:

- рабочая температура внешней среды от –45 до +75 °С (спец. исполнение от –55 °С);

- влажность воздуха 100 % при 35 °С (категория 5 исполнения ОМ);

- пределы изменения атмосферного давления от 84 до 106,7 кПа;

- тип атмосферы III, IV (морская и приморскопромышленная).

Степень защиты датчиков IP68 по ГОСТ 14254 (пыленепроницаемость и защита при длительном погружении в воду).

По устойчивости к механическим воздействиям датчики соответствуют исполнению № 1 по ГОСТ 12997.

Обеспечение взрывобезопасности

Датчики предназначены для установки на объектах в зонах классов 0, 1 и 2 по ГОСТ Р 51330.9, где возможно образование смесей горючих газов и паров с воздухом категории ПВ согласно ГОСТ Р 51330.11 температурной группы Т5, включительно. Датчики имеют взрывозащищенное исполнение, соответствуют требованиям ГОСТ Р 51330.0 и ГОСТ Р 51330.10, имеют вид взрывозащиты “Искробезопасная электрическая цепь”, уровень взрывозащиты “Особовзрывобезопасный” для взрывоопасных смесей газов и паров с воздухом категории ПВ по ГОСТ Р 51330.11 температурной группы Т5, маркировку взрывозащиты “0ExiaПВТ5 X” по ГОСТ Р 51330.0.

Практическое использование, рассмотренных выше систем объемного и объемно-массового учета связано с ниже перечисленными объектами:

- товарными парками нефтедобывающих компаний;
- нефтебазами и складами ГСМ;
- топливно-заправочными комплексами (ТЗК) аэропортов [3];
- базами химических реагентов.

Товарные парки являются наиболее крупными объектами приложения приборов. Особенностью такого применения систем учета является их способность адаптироваться к технологическому процессу подготовки нефти, т. е. процессу работы самого товарного парка. Учет в этом случае носит оперативный характер, а на систему учета ложится еще и задача управления [4]. С числом каналов контроля порядка нескольких тысяч, системы и комплексы широко применяются в таких нефтедобывающих компаниях как: ОАО “Сургутнефтегаз”, ОАО “Роснефть”, ОАО “Газпромнефть”, ОАО “Лукойл”, ОАО “ТНК-ВР”.

Применение приборов с учетом их особенностей на нефтебазах, складах ГСМ и базах хим. реагентов примерно одинаково (небольшое число каналов контроля и основной технологический режим – режим хранения продукта).

Большой динамикой в движении жидкостей обладают ТЗК аэропортов. Рассмотренными выше измерительными средствами оснащены системы управления ТЗК аэропортов в городах Петропавловск-Камчатский, Салехард, Калининград, Красноярск и др. Причем для первых двух объектов реализована передача текущей информации о состоянии ТЗК на далекие расстояния [5].

Выводы

Рассмотренные выше системы объемного и объемно-массового учета:

- полностью удовлетворяют требованиям существующего стандарта для учетных операций при хранении нефти и нефтепродуктов;

- благодаря лежащим в их основе процедурам измерения уровня и применения градуировочных таблиц обладают компактностью и невысокой стоимостью;

- построенные на использовании гидростатического принципа являются одними из немногих средств контроля процессов хранения нефти и нефтепродуктов;

- по своим возможностям охватывают практически весь известный спектр мер вместимости, в том числе и аппаратов, работающих под давлением;

- посредством разнообразия своих вторичных приборов делают реальными как автономную работу единичных систем учета, так и многоканальных систем (порядка сотни контролируемых мер вместимости), оснащенных средствами для формирования установленной отчетности и средствами передачи информации на расстояния десятки тысяч километров;

- относятся к особовзрывобезопасному оборудованию, имеют вид взрывозащиты “Искробезопасная электрическая цепь” и аттестованы к применению во взрывоопасных условиях;

- способны вести жидкостной баланс по объекту, мониторинг целостности мер вместимости, выявлять факты несанкционированного доступа к хранящимся ресурсам;

- просто интегрируются в состав сторонних АСУТП посредством стандартных промышленных интерфейсов.

*Юрий Борисович Дубасов –
заместитель коммерческого директора
ЗАО “Альбатрос”.
Телефоны: (495) 921-41-73,
976-40-38.*

Список литературы

1. *ГОСТ Р 8.595-2004.* Государственная система обеспечения единства измерений. Масса нефти и нефтепродуктов. Общие требования к методикам выполнения измерений. М: ИПК Издательство стандартов, 2005.
2. *Дубасов Ю.Б.* ЗАО “Альбатрос”. Технологии взрывобезопасного мониторинга. // Промышленные АСУ и контроллеры, 2007 г., № 9.
3. *Дубасов Ю.Б.* Типовая АСУ топливно-заправочного комплекса. // Промышленные АСУ и контроллеры, 2008 г., № 3.
4. *Дубасов Ю.Б.* Автоматизированные технологии взрывобезопасного мониторинга для установок подготовки нефти. // Тезисы докладов научно-практической конференции “Математическое моделирование и компьютерные технологии в разработке месторождений”, Уфа, апрель 2008 г.
5. *Герасимов Э.А., Дубасов Ю.Б., Козлов С.А.* АСУТП топливно-заправочного комплекса аэропорта г. Елизово. // Комитет по авиаГСМ. Материалы заседаний. Информационный выпуск № 4, 2009 г.