



# Автоматизированная система управления стендом поверки расходомеров

*Алексей Комелин, Сергей Ильясов*

В статье описана автоматизированная система управления стендом поверки расходомеров, используемых для тестирования компонентов нефтедобывающего оборудования. Представлены аппаратные и программные средства системы управления. Дано описание процесса поверки расходомера с представлением заложенных методов измерения и функциональных возможностей стенда.

## ВВЕДЕНИЕ

Требования нефтяных компаний к качеству обслуживания сервисными предприятиями того или иного оборудования, участвующего в таком сложном технологическом процессе, как добыча нефти, постоянно растут. Как было показано в предыдущих статьях [1, 2], каждый компонент установки электроцентробежного насоса (УЭЦН) после ремонта на сервисном предприятии ЗАО «ЛУКОЙЛ ЭПУ Сервис» проходит тестирование на соответствующем стенде. Результаты тестирования оформляются в виде протокола и прикрепляются к паспорту установки. Протоколы тестирования по договору нефтяной компании «ЛУКОЙЛ» являются неотъемлемой частью паспорта установки. Без про-

токолов тестирования нефтяная компания не примет установку в эксплуатацию.

Погрешности и качество измерений контролируемых параметров на стендах определяют качество оказываемых услуг. Именно поэтому все новые стенды тестирования проходят первичную аттестацию при вводе в эксплуатацию и в дальнейшем ежегодно подвергаются периодической аттестации. Более того, плановая калибровка стендов производится раз в квартал.

Электроцентробежный насос (ЭЦН) является наиболее важным компонентом в составе УЭЦН, так как по его производительности определяется текущий дебит скважины. Все характеристики ЭЦН (напор, мощность, КПД), получаемые в процессе тестиро-

вания на стенде, зависят от подачи насоса. Поэтому расходомеры, установленные на стенде, раз в год проходят поверку. Для этого на базе ЗАО «ЛУКОЙЛ ЭПУ Сервис» был разработан стенд поверки расходомеров, автоматизированная система управления которой описана в данной статье.

## СОСТАВ СТЕНДА И ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ

Стенд поверки расходомеров (рис. 1) состоит из следующих компонентов:

- измерительная ёмкость объёмом 1 м<sup>3</sup>, установленная на электронных весах;
- перекидное устройство с пневмоприводом;
- две магистрали измерения расхода;



Рис. 1. Общий вид стенда



Рис. 2. Рабочая ёмкость

- рабочая ёмкость объёмом 1,5 м<sup>3</sup> (рис. 2);
- два насоса разной производительности – первый до 40 м<sup>3</sup>/сутки, второй до 86 м<sup>3</sup>/сутки (рис. 3);
- шкаф управления.  
Стенд должен измерять:
- расход в диапазоне от 0,2 до 86 м<sup>3</sup>/ч с точностью 1%;
- давление до 500 PSI (фунт на квадратный дюйм);
- температуру рабочей жидкости (технической воды) до 50°C;
- температуру окружающей среды до 50°C;
- частоту импульсов до 2000 Гц;
- временной интервал до 100 мс;
- вес до 2000 кг;
- постоянный ток 4...20 мА.

Система управления стендом должна обеспечивать:

- управление оборотами привода насосов от 0 до 3000 об./мин;
- выбор насоса;
- установку желаемого расхода;
- переключение потока с рабочей ёмкости на измерительную и обратно;
- выбор расходомера;
- дистанционное управление весами.

### ПРОЦЕСС ПОВЕРКИ

Стенд позволяет производить поверку расходомера в сборе (турбинка и преобразователь), отдельно турбинки и отдельно преобразователя. Если расходомер в сборе, то есть турбинка и преобразователь уже согласованы производителем (как правило, это новый расходомер), то нам в процессе поверки необходимо определить зависимость выходного сигнала преобразователя (ток 4...20 мА) от расхода. Это можно сделать двумя методами.

Первый, наиболее быстрый метод заключается в следующем. По эталонному расходомеру устанавливаем необходимый расход. ПИД-регулятор поддерживает заданный расход путём изменения оборотов привода насоса. Для вычисления расчётного тока  $I_{рас}$  показание эталонного расходомера  $Q_{ЭТ}$  подставляем в следующую формулу:

$$I_{рас} = \frac{Q_{ЭТ} \cdot 16}{Q_{max} - Q_{min}} + 4, \quad (1)$$

где  $I_{рас}$  – расчётный ток поверяемого расходомера, мА;  $Q_{ЭТ}$  – расход эталонного расходомера, м<sup>3</sup>/ч;  $Q_{max}$ ,  $Q_{min}$  – верхняя и нижняя границы диапазона поверяемого расходомера, м<sup>3</sup>/ч. Далее определяем относительную погрешность измеренного тока.

Второй метод заключается в том, что эталонный расход получается весовым способом. Для этого перекидное устройство переключает поток на измерительную ёмкость и одновременно запускается таймер. Вес, измеренный весами, пересчитывается в объём и делится на время. Таким образом, получается эталонный расход  $Q_{ЭТ}$ . Затем расчёт ведётся по формуле (1).

Также на стенде можно поверять преобразователь отдельно от турбинки. В этом случае с генератора на вход преобразователя подаётся частотный сигнал, а с выхода снимается ток.

Можно поверять и турбинку отдельно от преобразователя. Для этого выход магнитного датчика турбинки нужно подключить к счётчику импульсов. При поверке турбинки необходимо определить коэффициент, равный отношению количества импульсов к объёму жидкости, прошедшей через расходомер за определённое время. При этом объём жидкости можно получить как с помощью эталонного расходомера, так и весовым методом.

Ещё одна функция стенда заключается в том, что можно проверить погрешность измерения эталонных расходомеров по весам.

### АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Основным критерием выбора контроллера системы управления стендом была способность контроллера производить измерения на основе приёма и обработки сигналов разных типов: сигналов постоянного тока (4...20 мА) от преобразователя расходомера и датчика температуры рабочей жидкости, сигналов напряжения (0...5 В) с датчика давления, а также сигналов счётчика импульсов внешней частоты и счётчика импульсов внутренней частоты для измерения миллисекундного интервала времени. С целью уменьшения погрешности преобразования решено было эталонные значения расходов получать по последовательному порту.

В силу этих причин в качестве базового элемента системы управления был выбран модуль микроконтроллера



Рис. 3. Насосы разной производительности

CPU188-5MX фирмы Fastwel. Отличительной особенностью данного модуля является то, что в своём составе он имеет универсальный порт ввода-вывода UNIO48 (разъёмы J8, J9). Порт реализован на программируемой логической микросхеме FPGA и предназначен для ввода-вывода 48 логических сигналов. Схема порта может изменяться непосредственно в системе (технология ISP) без выключения питания с помощью утилит [isl188.com](http://isl188.com) и [isp188.com](http://isp188.com).

Функциональная схема системы управления стендом поверки расходомеров приведена на рис. 4. Внешний вид аппаратуры системы управления показан на рис. 5.

На монтажной панели МРВ-16 фирмы Octagon Systems собраны модули УСО с гальванической развязкой. Это дискретные и аналоговые модули серий OpenLine и G5 фирмы Grayhill. Их состав, тип и назначение отражает табл. 1.

Монтажная панель МРВ-16 подключена к универсальному порту J8 модуля микроконтроллера. Для этого порта используется прошивка N00, обеспечивающая работу с модулями Grayhill.

Ко второму универсальному порту J9 модуля микроконтроллера подключена клеммная плата STB-26 (Octagon Systems). Порт запрограммирован на работу четырёх счётчиков импульсов и использует прошивку T01. Задействовано только два счётчика (остальные в резерве): первый счётчик предназначен для подсчёта импульсов с турбинки (внешняя частота), второй – для определения времени переключения перекидного устройства (используется внешняя частота заполнения 1 МГц).

Для изменения оборотов приводов насосов (регулирования расходов) ис-

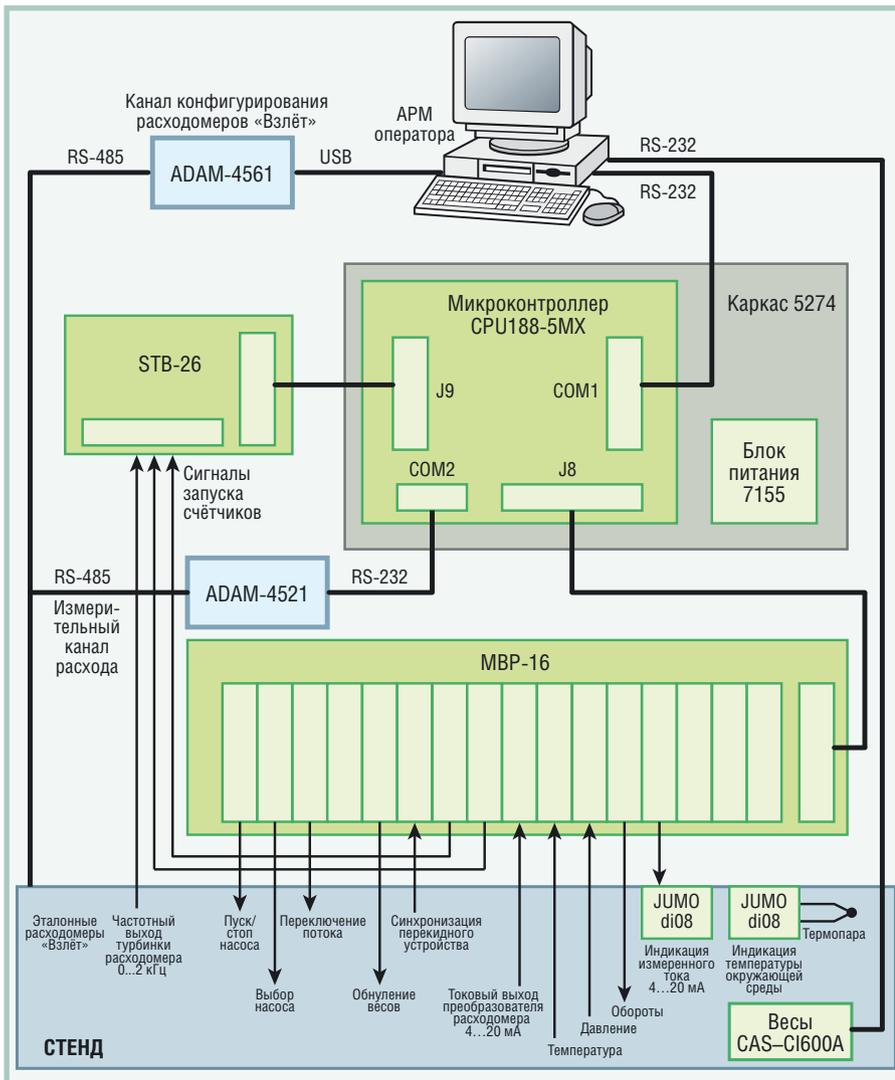


Рис. 4. Функциональная схема системы управления стендом



Рис. 5. Аппаратная часть системы управления стендом

пользуется частотный преобразователь Hitachi серии L300P. Индикаторы JUMO на лицевой панели шкафа управления отображают измеренный ток и температуру окружающей среды, которую

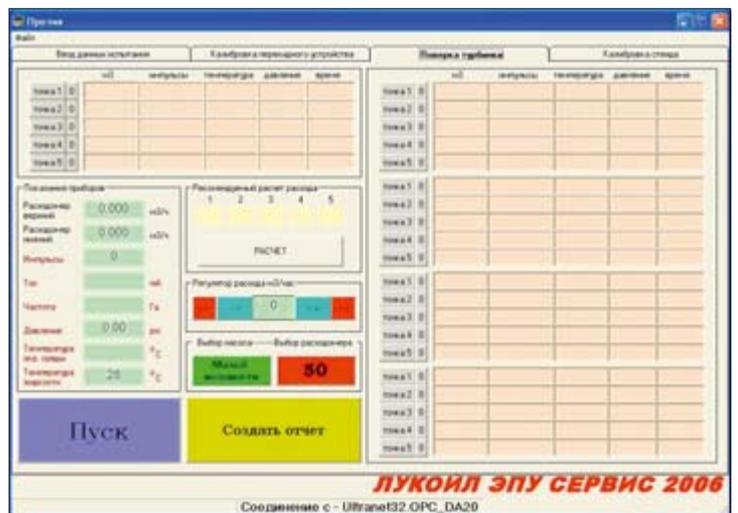


Рис. 6. Основная форма программы

измеряет внешняя термопара, подключённая непосредственно к одному из индикаторов. Вторичный преобразователь весов CAS CI-6000A встроен в дверь шкафа управления. Весы передают сигнал по последовательному порту непосредственно на компьютер оператора.

Эталонные расходомеры передают измеренный расход по последовательному интерфейсу в порт COM2 микроконтроллера, используя протокол RS-485. Для согласования этого протокола с протоколом интерфейса RS-232 микроконтроллера применён модуль преобразователя ADAM-4521 фирмы Advantech, образующий совместно с перечисленными интерфейсами измерительный канал расхода.

Конфигурирование эталонных расходомеров «Взлёт» производится с помощью штатного программного обеспечения, установленного на компьютере АРМ оператора. Связь порта RS-485 расходомера с USB-портом компьютера АРМ оператора реализована через соответствующие интерфейсы и модуль преобразователя ADAM-4561 (Advantech), вместе образующие канал конфигурирования расходомеров «Взлёт».

Последовательный порт COM1 микроконтроллера используется для его связи с компьютером АРМ оператора.

Модуль микроконтроллера размещён в монтажном каркасе 5274 с блоком питания 7155 (Octagon Systems).

Таким образом, с помощью всего одного модуля микроконтроллера CPU188-5MX, имеющего универсальный порт ввода-вывода, решена проблема сбора электрических сигналов различных типов, что существенно снизило стоимость системы управления в целом.

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

Программа управления процессом поверки расходомеров разработана на языке программирования Visual Basic 5.0. На рис. 6 показана основная форма программы, которая включает 4 закладки: «Ввод данных испытания», «Калибровка перекидного устройства», «Проверка турбинки», «Калибровка стенда». Как видно из рис. 6, в процессе поверки весь диапазон разбивается на 5 точек. В каждой точке снимается по 5 замеров. При необходимости, если какой-либо замер выпал из нормальных значений, его можно обнулить и повторить замер заново. Форма содержит управляющие кнопки, обеспечивающие выбор насоса, выбор расходомера, установку расхода, управление двигателем.

По результатам поверки генерируется отчёт, форма которого представлена на рис. 7.

Программа для CPU188-5MX разработана в среде программирования промышленных контроллеров UltraLogik32. Использован штатный ПИД-регулятор из библиотеки, поставляемой с системой разработки. На уровне микроконтроллера идёт преобразование кодов в физические величины, фильтрация сигналов, их масштабирование и первичная обработка. На языке C++ разработано программ-

**Состав, тип и назначение применяемых модулей УСО**

Модуль	Тип	Назначение
70G-ODC5	Выходной	Пуск/стоп выбранного двигателя
70G-ODC5	Выходной	Выбор насоса
70G-ODC5	Выходной	Переключение потока
70G-ODC5	Выходной	Обнуление весов
70G-IDC5	Входной	Синхронизация перекидного устройства
70G-ODC5	Выходной	Разрешение счёта внешних импульсов
70G-ODC5	Выходной	Разрешение счёта внутренних импульсов
73G-II420	Входной	Измерение расхода
73G-II420	Входной	Измерение температуры жидкости
73G-IV5	Входной	Измерение давления
73G-OV10	Выходной	Изменение оборотов
73G-OV10	Выходной	Индикация (измеренный ток)

ное обеспечение последовательного порта, предназначенного для чтения значений с эталонных расходомеров.

В качестве связующего звена между уровнями системы управления используется OPC-сервер UltraNet32.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В настоящее время разработанный стенд проходит аттестацию для использования его в качестве средства измерения в метрологической службе нашего предприятия. Успешное внедрение стенда ещё раз подтвердило возможность быстрой и относительно простой разработки качественных систем управления на основе применения средств автоматизации таких фирм, как Octagon Systems и Fastwel, и систе-

мы программирования промышленных контроллеров UltraLogik32. ●

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Комелин А. Автоматизированная система управления стендами тестирования погружного электрооборудования // Современные технологии автоматизации. 2004. № 3. С. 16-23.
2. Комелин А. Автоматизированная система управления стендом тестирования гидрозащиты погружного электродвигателя // Современные технологии автоматизации. 2005. № 2. С. 58-61.

**Автор — сотрудник  
ЗАО «ЛУКОЙЛ ЭПУ Сервис»  
Телефон: (34667) 497-50  
Факс: (34667) 497-46**

ЗАО «ЛУКОЙЛ ЭПУ Сервис»		Протокол калибровки преобразователя расхода жидкости весовым методом.															Приложение									
Тип преобразователя: Турбинный		Условия и средства калибровки:																								
Первичный преобразователь: HALLIBURTON №		Гидрометр пьезометрический: ВПТ-2															зав № 48									
Вторичный преобразователь: HFC №		Барометр-анероид: М 110															зав № 32									
Максимальное значение объемного расхода при $L_{max} = 20$ мм. $Q_{max} = Q_{max}^{20}$		Магометр: МПЗ-УУ2-25															зав № 565									
Максимальное значение объемного расхода при $L_{max} = 4$ мм.		Стенд калибровки расходомеров: ЭТ расходомер: ВСУЕТ Ду: 50 мм															зав № 00-010290									
Константа преобразования импульсного входа: $K_p$		Платформенные весы: Тип: CAS CI 6000A															зав № 1967(12612)									
Предел допускаемой погрешности: $\delta$		Датчик давления: Тип: Setra 280E															зав № 1465803									
Приводител:		Датчик температуры: Тип: Omega TX92															зав № 3348									
Комплектность (наличие паспорта, внешний вид и т.п.):		Счетчик импульсов: AR-2															зав № 619									
Электрическое сопротивление изоляции цепей питания: 1000 МОм		Метаомер: Тип: А102/2															зав № 0935774									
Место проведения калибровки: лаборатория ОМО ЗАО ЛУКОЙЛ ЭПУ Сервис		Проверочная жидкость: Вода																								
Дата проведения калибровки: 27.11.2006		Температура окружающего воздуха: °С																								
Дата проведения следующей калибровки: 27.11.2007		Относительная влажность воздуха: %																								
		Атмосферное давление: мм рт. ст.																								
		Давление воздуха в питающей линии: кг/см <sup>2</sup>																								
Номер точки диапазона	Номер измерений	$Q_1 (Q_{00})$ по эталону		$M_0$ (мг)	$N_0$	$K_0$	$T_0$	$P_0$	$\rho_0$	$t_0$	$V_0$ (V <sub>0</sub> )	$N_1$	$S_1$	$\epsilon_1$	$K_1$	$K_2$	$\delta_1$	$\delta_2$	$\delta$	№	F	I <sub>рвч</sub>	I <sub>л</sub> (I <sub>изл</sub> )	Вр	б.	
		м <sup>3</sup> /ч	%																							кг
1	1	4,667	11	194,02	17730,7	346	130	1,14	997,2	22,00	0,194	17749,03	0,0172	0,0549	345,0561						1	66,3841	5	4,90	0,4016	
	2	4,667	11	194,02	17730,9	346	130	0,98	997,3	22,00	0,194										2	265,536	8	7,90	0,2306	
	3	4,684	11	194,73	17948,5	344	130	0,74	997,3	22,00	0,193										3	531,073	12	11,99	0,0834	0,4016
2	1	12,462	30	519,34	47299,6	344	130	13,79	997,2	22,00	0,521	47279,47	0,0034	0,0108	343,3406						4	794,609	16	16,01	-0,0623	
	2	12,525	30	520,71	47281	343	130	13,92	997,2	22,00	0,522										5	1062,15	20	20,02	-0,0999	
	3	12,510	30	520,09	47272,8	343	130	13,99	997,2	22,00	0,521															
3	1	22,127	53	919,9	83314,2	342	130	29,09	997,2	22,00	0,922	83316,97	0,0056	0,0177	342,5307	347,3848	1,71412	1,39643	1,36267							
	2	22,084	53	918,11	83313,8	343	130	29,57	997,2	22,00	0,921															
	3	22,073	53	917,66	83322,3	343	130	29,48	997,2	22,00	0,921															
4	1	32,278	77	1341,9	125134	352	130	48,11	997,2	22,00	1,345	125126,3	0,0003	0,0147	353,3394											
	2	32,115	77	1335,1	125121	354	130	48,15	997,2	22,00	1,338															
	3	32,114	77	1335,1	125124	354	130	48,16	997,2	22,00	1,338															
5	1	41,932	101	1740,3	162528	352	130	37,67	997,2	22,00	1,747	162313,3	0,0007	0,0277	352,6341											
	2	41,656	100	1732,6	162512	354	130	39,3	997,2	22,00	1,737															
	3	41,656	101	1740,3	162500	352	130	37,93	997,2	22,00	1,748															
Заключение по результату калибровки:		Калибровку проводил: Калибровка:																								
		Паспорт по метрологии:																								

Рис. 7. Форма отчёта