

# 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°С;
- температуру окружающей среды до 50°С;
- 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 привода насосов (регулирования расходов) ис-

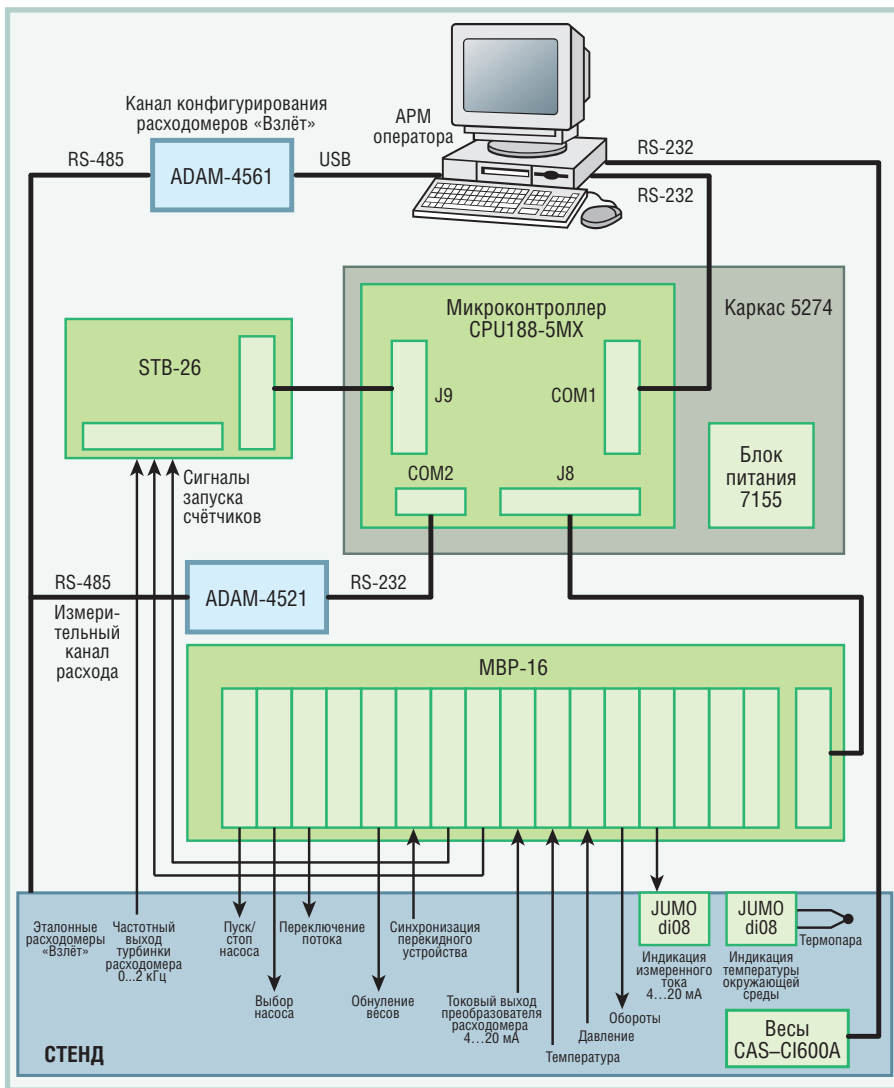


Рис. 4. Функциональная схема системы управления стандом

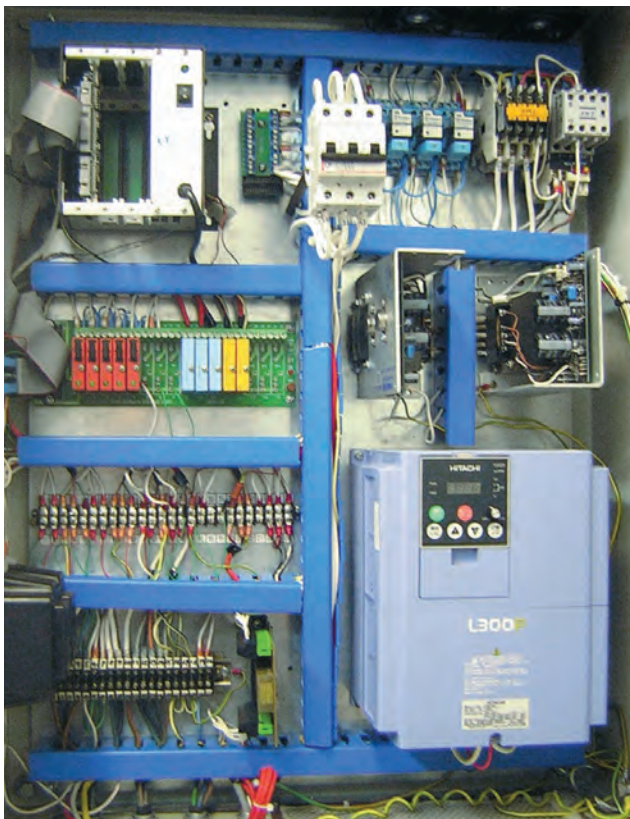


Рис. 5. Аппаратная часть системы управления стандом

пользуется частотный преобразователь Hitachi серии L300P. Индикаторы JUMO на лицевой панели шкафа управления отображают измеренный ток и температуру окружаю-

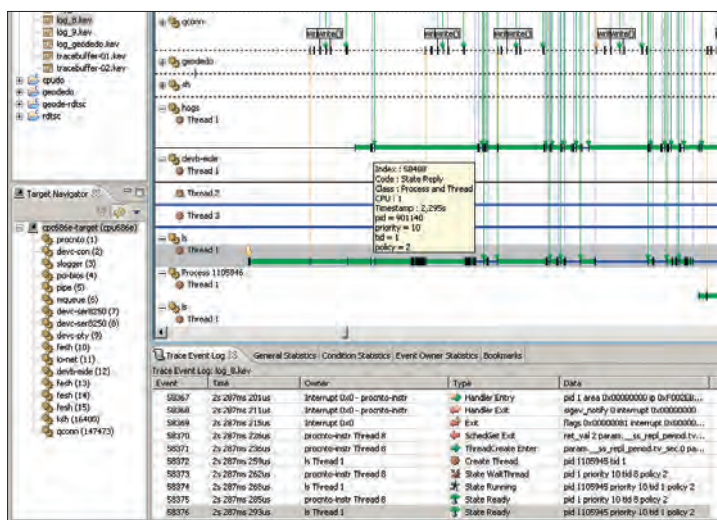


Рис. 6. Основная форма программы

щей среды, которую 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.

# ЗНАК СИЛЫ. OCTAGON



## ВЫСОКОНАДЕЖНЫЕ МОДУЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ MicroPC



- x86 совместимые процессорные платы производительностью до Pentium III
- широкий выбор периферийных плат для промышленных применений
- поддержка Windows CE, QNX, Linux
- простота обслуживания
- удары до 20g
- вибрация до 5g
- -40...+85°C



Влагозащитное  
покрытие  
всех типов плат!

**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 турбины», «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 отчет, 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-0V10	Выходной	Изменение оборотов
73G-0V10	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 гидрозачиты 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																						<b>Условия и средства калибровки:</b>				
Первичный преобразователь HALLIBURTON №																						Гигрометр психрометрический ВИТ-2 зав.№ 48				
Вторичный преобразователь HFC №																						Барометр-анероид М 110 зав.№ 32				
Максимальное значение объемного расхода, при $I_{\text{вкл}} = 20 \text{ мА}$ : $Q_{\text{с вкл}} = Q_{\text{норм}} =$		41.66667 м3/ч																				Манометр: МПС-УУ2-25 зав.№ 565				
Минимальное значение объемного расхода, при $I_{\text{вкл}} = 4 \text{ мА}$ :		3.333 м3/ч																				Стенд калибровки расходомеров: ОС-010290 зав.№ 400939				
Константа преобразования импульсного входа: $K_p =$		имп/м3 (имп/гал)																				Эт. расходомер: ВЗЛЕТ Ду-50 мм зав.№ 1967(12612)				
Предел допускаемой погрешности: $\delta =$		1 %																				Платформенные весы: Тип CAS CI 6000A зав.№ 1465803				
Принадлежит:																						Датчик давления: Тип Setra 280E зав.№ 3348				
Комплектность (наличие паспорта, внешний вид и т.п.):																						Датчик температуры: Тип OmegaTX92 зав.№ 019				
Электрическое сопротивление изоляции цепей питания:		1000 МОм																				Счетчик импульсов: AR-2 зав.№ 0935774				
Место проведения калибровки: лаборатория ОМО ЗАО ЛУКОЙЛ ЭПУ Сервис																						Мегаомметр: Тип А102/2 зав.№				
Дата проведения калибровки: 27.11.2006																						Поверочная жидкость: Вода				
Дата проведения следующей калибровки: 27.11.2007																						Температура окружающего воздуха: °C				
																						Относительная влажность воздуха: %				
																						Атмосферное давление: мм рт. ст.				
																						Давление воздуха в питающей линии: кгс/см2				
Номер точки диапазона, j	Номер измерения, i	$Q_j (Q_{\text{вои}})$ по эталонному		$M_j$ (мг)	$N_j$	$K_j$	$T_{ij}$	$P_j$	$\rho_j$ ( $\rho$ )	$t_j$	$V_j$ ( $V_0$ )	$N_j$	$S_j$	$\varepsilon_j$	$K_j$	$K_d$	$\theta_C$	$\theta_C$	$\delta$	№	F	$I_{\text{расч}}$	$I_i$ ( $I_{\text{зад}}$ )	Вр	б,	
		м3/ч	%																							кг
1	1	4,667	11	194,02	17750,7	346	1,50	1,14	997,8	22,00	0,194	17749,03	0,0172	0,0549	345,0561						1	66,3841	5	4,98	0,4016	
	2	4,667	11	194,02	17750,9	346	1,50	0,98	997,8	22,00	0,194															
	3	4,684	11	194,73	17745,5	344	1,50	0,74	997,8	22,00	0,195															
2	1	12,492	30	519,34	47279,6	344	1,50	13,79	997,8	22,00	0,521	47279,47	0,0034	0,0108	343,3436						2	265,536	8	7,98	0,2506	
	2	12,525	30	520,71	47281	343	1,50	13,92	997,8	22,00	0,522															
	3	12,510	30	520,09	47277,8	343	1,50	13,99	997,8	22,00	0,521															
3	1	22,127	53	919,9	83314,8	342	1,50	29,09	997,8	22,00	0,922	83316,97	0,0056	0,0177	342,5507	347,3848	1,71412	1,89845	1,56267		3	531,073	12	11,99	0,0834	0,4016
	2	22,084	53	918,11	83313,8	343	1,50	29,57	997,8	22,00	0,92															
	3	22,073	53	917,66	83322,3	343	1,50	29,48	997,8	22,00	0,92															
4	1	32,278	77	1341,9	125134	352	1,50	46,11	997,8	22,00	1,345	125126,3	0,0053	0,0167	353,3394						4	796,609	16	16,01	-0,0625	
	2	32,115	77	1335,1	125121	354	1,50	46,15	997,8	22,00	1,338															
	3	32,114	77	1335,1	125124	354	1,50	46,16	997,8	22,00	1,338															
5	1	41,932	101	1743,3	162528	352	1,50	37,67	997,8	22,00	1,747	162513,3	0,0087	0,0277	352,6341						5	1062,15	20	20,02	-0,0999	
	2	41,676	100	1732,6	162512	354	1,50	39,3	997,8	22,00	1,737															
	3	41,986	101	1745,3	162500	352	1,50	37,95	997,8	22,00	1,749															
Заключение по результату калибровки:																						Калибровку произвел: Калибровщик:				
																						Инженер по метрологии:				

Рис. 7. Форма отчёта

## Стратегия глобальных и локальных приобретений

В последнее время на рынке источников питания все чаще происходят процессы поглощения более мелких и укрупнения ведущих компаний. В течение последних лет три из пяти наиболее крупных компаний-поставщиков источников питания вовлечены в процесс слияний. При этом возрастает угроза другим компаниям, что может повлечь дальнейшее укрупнение в попытке выровнять игровое поле.

Спустя год после приобретения компании Lambda компанией TDK г-н Takeo Suzuki, уполномоченный директор и президент Densai-Lambda, оценивает слияния компаний, произошедшие за последние годы и служащие для укрепления их позиций на рынке источников питания.

— Когда год назад TDK вступила во владение компанией Lambda, образовав бренд TDK-Lambda, компания переместилась на второе место в мире в секторе производителей источников питания. Последующее появление бренда Astec-Artesyn отодвинуло TDK-Lambda на третье место.

В настоящее время TDK-Lambda стремится стать компанией совершенных решений на рынке источников питания. Прежде всего компания хочет расти. В этом отношении TDK-Lambda ориентируется не только на структурный рост, но и на последующие приобретения. На государственном уровне, например в Северной Америке, TDK-Lambda планирует приобрести небольшие производственные компании, занимающие определённые рыночные ниши. Поскольку сделать такие приобретения проблематично, компания рассчитывает на \$10-15 млн. в регионе. Вместе с тем TDK-Lambda будет стремиться расширить и объём рынка на международном уровне. В этом случае планируются приобретения на сумму от \$50 до \$100 млн.

В настоящее время доля TDK-Lambda на рынке составляет примерно 6%. Это значит, что компания основательно отстаёт от лидера рынка — компании Delta, которая имеет 12%. Ситуация совершенно иная, если обратиться к источникам питания для промышленных применений. В этой сфере TDK-Lambda является

явным лидером с 24% перед Power-One, у которой 4% доли рынка. TDK-Lambda стремится к дальнейшим приобретениям, поэтому планирует укрепить своё положение на рынке, уделив особое внимание сфере DC/DC-преобразователей.

В промышленном секторе европейские специалисты по источникам питания подвержены влиянию производителей с агрессивной ценовой политикой, таких как Mean-Well, предлагающих «упрощённые» устройства.

Поскольку внутренний рынок компании TDK-Lambda (Япония) занят, производители с агрессивной ценовой политикой не имеют там больших шансов на успех вследствие высоких требований японского рынка к надёжности, особенно в промышленном секторе. Впрочем, на международном уровне TDK-Lambda планирует реагировать на такие модели бизнеса, как у Delta и Mean-Well, выпускающая соответствующий ряд изделий.

Процесс укрупнения на рынке источников питания ускоряется, особенно в сфере DC/DC-преобразователей. Через два или самое позднее три года будет существовать только цифровой способ управления процессом преобразования в источниках питания, прежде всего в промышленном секторе. Всякий, кто не выдерживает требований времени к техническим характеристикам изделий, очень быстро останется за бортом. Следует ожидать, что через несколько лет Китай перестанет играть роль главной производственной арены, которую он играет в настоящее время. Как и другие крупные компании, TDK-Lambda начала сокращать свои производственные мощности в Китае и переводить их в Таиланд, Вьетнам и Малайзию. ●

## Конфигурируемые DC/DC-преобразователи для военных применений — лауреаты конкурса Technology Awards

Конфигурируемые DC/DC-преобразователи серии MCC компании XP Power признаны лучшими в категории «Источники питания» конкурса Technology Awards 2006 года, проводимого журналом ECN ([www.ECNmag.com](http://www.ECNmag.com)).

Низкопрофильные DC/DC-преобразователи при работе способны обеспечить мощность до 400 Вт, номинальные значения выходных напряжений составляют от 2 до 48 В, диапазон входных напряжений от 18 до 36 В постоянного тока. По желанию заказчика в преобразователь может быть встроено от 1 до 4 выходных каналов.

Низкопрофильные DC/DC-преобразователи отвечают требованиям зарубежных военных стандартов:

MIL-STD 1275 A/B — к питающей сети постоянного напряжения и устойчивости аппаратуры к динамическим изменениям напряжения электропитания бортовой сети военных транспортных средств;

MIL-STD-461E — к кондуктивным помехам;

MIL-STD-810F — к внешним воздействиям: вибрациям, механическим ударам.

Каждый выходной канал модуля серии MCC имеет собственный контур стабилизации, устраняющий перекрёстные влияния между каналами. Нестабильность по току и напряжению не превышает  $\pm 1\%$ . DC/DC-преобразователи оснащаются дополнительным 200-ваттным выходным каналом нестабилизированного напряжения для питания приводных электромоторов, фотокамер и другого бортового оборудования.

Конфигурируемые модули обладают следующими сервисными функциями: дистанционным включением/выключением, сигналами блокировки выходных каналов, сигналами состояния выходных напряжений, внешней обратной связью, защитой по току и перенапряжению, защитой от короткого замыкания и перегрева (самовосстановление), а также изменениями полярности входного напряжения.

Типичное значение КПД равно 75%, напряжение гальванической изоляции между первичной и вторичной цепью, первичной цепью и корпусом, вторичной цепью и корпусом составляет 500 В постоянного тока. Преобразователи имеют широкий диапазон рабочих температур от  $-40$  до  $+90^\circ\text{C}$  (основание корпуса), габаритные размеры модуля 185x165x27,5 мм. Отвод тепла через плату-основание даёт возможность применять изделия в системах с кондуктивным отводом тепла через элементы конструкции аппаратуры. ●