

## “Точно по графику” за счет технологии децентрализованного управления по сети Ethernet



Магистраль “быстрого” Ethernet производительностью 100 Мбод, работающая в полностью дуплексном режиме на европейском заводе компании Ford, расположенном в бельгийском городе Генк, соединяет 130 контроллеров сети Ethernet BC9000 производства компании Beckhoff. С помощью этого оборудования осуществляется управление сложной системой транспортировки, так называемым “туннелем”, который обеспечивает синхронизированную доставку деталей и систем от четырех поставщиков. Собственники туннеля вложили в аппаратные, программные и сетевые технологии около 7 млн. евро.

### Ethernet связывает контроллеры тоннеля

Новый автомобиль Ford Mondeo производится компанией Ford в Бельгии, на заводе в городе Генк. Ежедневно за три рабочие смены с заводского конвейера сходят, как говорится, более 1650 автомобилей. В зависимости от полученных заказов и комплектации предполагаемый суммарный годовой объем производимой продукции может составлять до 350 000 автомобилей. Компания Ford слегка передислоцировала зону поставщиков на заводских площадях. В зоне поставщиков изготавливаются важные системные компоненты и узлы, доставляемые “строго по времени” и “в строгой последовательности”. Эти изделия доставляются в зону сборки, расположенную на заводской территории в С-залах, с помощью системы транспортировки, называемой туннелем. Туннель действует в пределах завода как высотный виадук, доставляя узлы и детали из зоны поставщиков к сборочным станциям. Транспортный участок системы протяженностью 1 км обслуживается конвейером длиной около 7 км. Транспортировка осуществляется по двум направленным технологическим маршрутам. Главный из них, включающий участок из зоны поставщиков, ведет непосредственно на завод, достигая перегрузочных станций на линии сборки. В обратном направлении, с завода, транспортировка осуществляется по двум основным маршрутам. В целом, в систему было инвестировано около 30 млн. евро, из которых 7 млн. евро пошло на комплексную автоматизацию производства.

Знаменательно, что владельцем туннеля является не Ford, а компания ASG (Automotive Service Genk), вместе с которой в финансировании капиталовложений участвует расположенная в г. Генк компания GTI Electro Thijs. В ведении компании GTI находится все относящееся к проекту электротехническое оборудование. Дополнительную поддержку проекта обеспечивает компания MULTI-PROX, которая является эксклюзивным представителем компании Beckhoff в Бельгии. Компания ASG, являясь совместным предприятием производящих оборудование компаний Eisenmann и LRM (Limburgse Reconversie Maatschappij), учредила производственную компанию CSG (Conveyor Services Genk). По существу, работа конвейерного туннеля оплачивается из стоимости каждого выпущенного автомобиля. Таким способом промышленники и поставщики поддерживают “безотказные” стандарты

компании Ford в отношении материальных потоков изделий и систем.

Решение о строительстве туннеля было принято в 1999 г. По мнению Айвана Джулиамса (Ivan Guilliams),

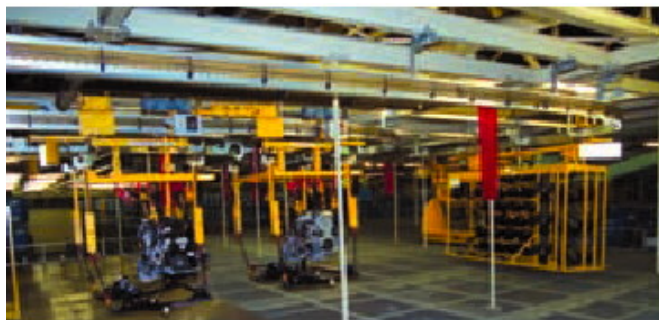


Поставщики SML, Lear, Textron и TDS Essers напрямую связаны с залами сборки Ford Mondeo посредством подвесной системы транспортировки, в виде конвейерной ленты длиной 7 км

руководителя проекта из компании GTI Electro Thijs, идея проекта возникла потому, что “компания Ford нужно, чтобы поставщики располагались ближе к основному производству”. Разработка плана туннеля началась в октябре 1999г., а в декабре были проведены первые строительные работы. Одновременно разрабатывалась конструкция туннеля и ее воплощение в конкретном оборудовании: конвейерная технология, поставщиком которой была фирма Eisenmann из Бёблингена. В конце апреля начались пуско-наладочные работы, а 15 августа 2000 г. прошла первая серия пробных 8-часовых испытаний. За неделю до официального пуска производства в сентябре оборудование конвейера было опробовано в непрерывной работе в течение 100 часов. С тех пор компания Ford продолжает наращивать производство автомобилей Mondeo. Соответственно, для обеспечения доставки необходимых узлов и систем “строго по времени” и “в строгой последовательности” непрерывно растет и производительность линий их транспортировки. По этой причине непрерывно совершенствуется программа управления конвейерным оборудованием. Ранее на своем заводе, расположенном в Саарлуисе, компания Ford обнаружила, что близкое расположение зоны поставщиков и соединение их конвейерных средств со сборочной линией автомобильного завода создает очень благоприятные условия. Это наблюдение сложилось в концепцию,

Прямой системой транспортировки с заводом по сборке автомобилей Ford Mondeo связаны следующие поставщики: *SML* (автомобильные двигатели в сборе), *Lear* (автомобильные сиденья), *Textron* (приборные панели и системы баков), а также *TDS Essers* (оборудование выхлопных систем, кабельные жгуты и т.д.). Каждый из четырех поставщиков имеет собственную подъемную станцию к системе транспортировки. Готовые к отправке детали или узлы размещаются в специальных тележках или закрепляются на кронштейнах. После того как в соответствии с заказами будет определено, какие детали должны быть отправлены, начинается процесс доставки. С помощью сложных подъемных механизмов на станции поставщика детали поднимаются и крепятся к системе туннельного конвейера. Эта процедура выполняется на соответствующих подъемных станциях и пунктах. В зал поставщика тележки возвращаются "попутным рейсом", то есть, пока закрепляется поднятая нагруженная тележка, при спуске лифта в транспортную систему поставщика возвращается разгруженная тележка. Кроме того, каждая "пустая" тележка может быть индивидуально проверена или отправлена на техническое обслуживание на специальную станцию.

Транспортный конвейер представляет собой систему однорельсовых подвесных путей с тельферами, общей протяженностью около 7 км, со 110 подъемными пунктами и в общей сложности 35-ю подъемными станциями. Система оснащена 450-ю кронштейнами. За три рабочие смены к пунктам сборки на линии производства доставляется около 45 000 различных деталей. Продолжительность цикла на линии сборки автомобиля Mondeo составляет 45 секунд. Через каждые 45 секунд в пункт сборки должно поступать оборудование, варианты которого определяются особенностями заказа.



Когда со сборочной линии Mondeo запрашивается кузов автомобиля, данные заказа, содержащие сведения о вариантах и характеристиках оборудования, направляются поставщику по сети компьютеров системы материально-технического обеспечения. Точно через 78 минут заказанные детали, системы и узлы должны быть на сборочной линии. Таким образом, поставщики имеют в своем распоряжении приблизительно 34 минуты для окончательной сборки, а также проверки и подготовки необходимых узлов к отправке. Транспортировка занимает не более 24 минут, и около 6 минут запрограммировано как резервное время. Очевидно, что точный и тщательно выверенный график предвзывает чрезвычайно строгие требования к оборудованию и всей концепции организации системы транспортировки.

## Модульность системы тельферов и технологии управления

Модульная конструкция системы транспортировки была задумана еще на этапе планирования завода. В техническом плане модульность обеспечивается подъемными станциями (на которых осуществляется прием и передача) и пунктами. Однако в том, что касается технологии управления, требовался выбор между распределенными точками ввода-вывода с централизованными управляющими средствами и распределенной системой децентрализованных управляющих элементов. Проектировщики компании *GTI Electro Thijs* сравнили эти две системы и приняли решение в пользу распределенной системы интеллектуальных модулей с децентрализованным управлением. Руководитель проекта, Айван Джулиамс объясняет такой выбор следующим образом: "Модульность обеспечивает большие преимущества в целом. Например, она дает нам возможность одновременно вводить в эксплуатацию автономные участки завода, обеспечивая при этом повышенную производственную надежность. В такой ситуации сбой на одном участке не окажет серьезного воздействия на работе всей конвейерной системы". Основательные преимущества имеет также воплощение на практике концепции управления на основе распределенных интеллектуальных управляющих модулей. С учетом этого Барт Клаес (Bart Claes), инженер проекта компании *GTI Electro Thijs*, ответственный за реализацию аппаратного и программного обеспечения, считает, что модульные средства снимают целый ряд проблем и позволяют более экстенсивно использовать программные решения. "110 подъемных пунктов и 35 станций, которыми необходимо управлять, требуют подобных во многом систем управления, поэтому их легко можно будет модифицировать и поддерживать при всем их большом количестве", – утверждает Клаес. Вопрос сопряжения систем также прояснился после принятия фундаментального решения в пользу распределенных интеллектуальных модулей, и было решено использовать сети Ethernet TCP/IP. "Требуется передавать много информации по



**MULTIPROX**

В ведении компании *GTI Electro Thijs* из г.Генк находится все электротехническое оборудование "зоны поставщиков конвейера". Поддержку этой компании осуществляет компания *MULTIPROX*, которая является эксклюзивным представителем компании *Beckhoff* в Бельгии.

Группа *GTI* в Бельгии включает 4 компании, объединенные в холдинг *GTI Holding Belgium nv*, являющийся подразделением более крупного холдинга *GTI Holding*. С оборотом около 160 млн. евро и постоянным штатом в 1200 человек группа *GTI* в Бельгии является одним из крупнейших поставщиков на рынке технических услуг. В комплекс услуг входит проектирование, менеджмент и монтаж оборудования, а также техническое обслуживание и контроль всех технических аспектов.

[www.gti-group.be](http://www.gti-group.be)

Компания *MULTIPROX* является дочерней бельгийской компанией холдинга *TURCK*, одной из ведущих групп в области технологий промышленной автоматизации. Первоначально компания *Multiprox* специализировалась в области датчиков, а в настоящее время предлагает решения в целом спектре прикладных задач, например:

- технологии датчиков для периферийного оборудования,
- автоматические устройства для коммутации и мониторинга с удобной для пользователя конструкцией,
- технологии систем для дистанционной автоматизации (для шин стандарта Fieldbus).

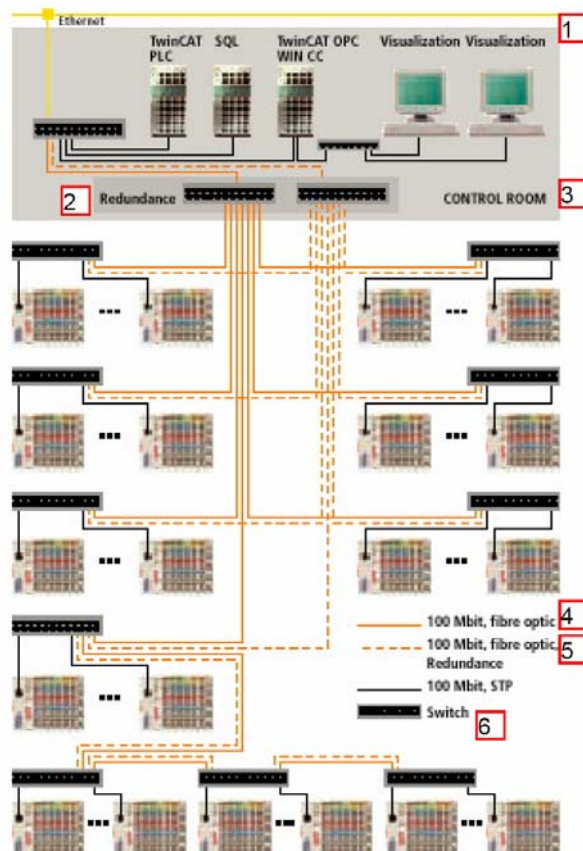
В отношении шин стандарта fieldbus важный шаг вперед позволили сделать исключительные права на распространение продукции компании *Beckhoff*. Законченные решения, предлагаемые компанией *Beckhoff* на основе шинонезависимых контроллеров сети и программного обеспечения TwinCAT, сделали возможным прорыв на рынок проектирования более крупных установок и машин.

“Мы выбрали технически наиболее убедительное решение”, – сказал Клаес, ссылаясь на встроенный в BC9000 Ethernet-интерфейс, огромную линейку выпускаемых Beckhoff модулей ввода-вывода серии Bus Terminal, включающую например модули с последовательными интерфейсами для подключения устройств считывания идентификационных кодов, и наконец – возможность удобного программирования в соответствии со стандартом IEC 61131-3.

## Ethernet – это душа, а не позвоночник

Во всем проекте туннеля задействовано 130 контроллеров сети BC9000. Сеть системы управления организована с использованием Fast-Ethernet TCP/IP (100 Мбод). Резервным кольцом служит система связи коммутаторов полностью по Ethernet. Таким образом, если в каком-либо из оптоволоконных сегментов между 11 коммутаторами Fast-Ethernet (производства компании Cisco Systems), возникнет сбой, доступ к “отключенному” коммутатору может быть обеспечен с другого конца сети. Связь между “управляемыми” сетевыми коммутаторами осуществляется в полностью дуплексном режиме, поэтому сеть способна работать почти в режиме реального времени. Подключение каждого из 24 портов любого коммутатора, соединенных со сконструированным для подсоединения по схеме звезды контроллером BC9000, осуществляется сначала по экранированному кабелю – к гнезду в шкафу управления, а затем по патч-кабелю – к разъему RJ45 контроллера BC9000.

С точки зрения методики управления, каждый из подсоединенных мини-ПЛК работает автономно, то есть по сети Ethernet не передается никаких данных ввода-вывода, а только данные относительно специфических для заданного заказа узлов, которые требуется доставить. Если несмотря на предусмотренное резервирование связь через Ethernet прервется, один контроллер BC9000



130 контроллеров сети BC9000 связаны с управляющим компьютером резервированной сетью Ethernet

1- визуализация; 2 – резервирование; 3 – диспетчерская; 4 – 100 Мбит, оптоволокно; 5 – 100 Мбит, оптоволокно/резервирование; 6 – коммутатор



Руководитель проекта Айван Джулиамс и инженер проекта Барт Клаес из компании GTI Electro Thijs

способен хранить до 500 записей относительно параметров заказов. Только тогда были бы потеряны следующие данные. Важно, что сбой в сети Ethernet не приводит к сбою всего конвейера.

## Контроллеры сети Ethernet – мини ПЛК для задач распределенного управления

Контроллеры BC9000 являются устройствами сопряжения с сетью Ethernet с интегрированными функциями ПЛК. В проекте туннеля контроллер BC9000 использован в качестве элемента искусственного интеллекта в сети Ethernet с функцией подчиненного интеллектуального устройства. К нему

подключаются до 64 двух- и четырехканальных электронных модулей ввода-вывода. Программирование контроллера осуществляется посредством системы программирования TwinCAT в соответствии со стандартом IEC 61131-3. Для загрузки программы ПЛК используется интерфейс конфигурирования/программирования BC9000. В качестве альтернативы, как в случае использования в г. Генк, программа ПЛК может быть загружена через сеть Ethernet с помощью программного обеспечения TwinCAT PLC

Каждый электронный модуль с помощью программного обеспечения KS2000 можно сконфигурировать таким образом, чтобы он

обменивался данными непосредственно с устройствами автоматизации более высокого уровня—в описанном приложении с TwinCAT PLC. Подобным образом по промышленной шине может осуществляться обмен предварительно обработанными данными между контроллером сети BC9000 и устройством более высокого уровня автоматизации.

На этапе запуска программное обеспечение TwinCAT PLC посредством функциональных блоков (Function Blocks – FB) контролирует конфигурацию сети Ethernet с точки зрения технологии распределенного управления для всей системы транспортировки. Программное обеспечение TwinCAT PLC позволяет загружать сгенерированные распределенным способом данные о конфигурации в главную систему для того, чтобы обрабатывать и хранить их централизованно. Это означает, что можно избежать процедуры повторной установки при замене модуля ввода-вывода. Программное обеспечение TwinCAT PLC выполняет необходимую установку автоматически сразу после включения. Для выполнения программы ПЛК размером около 1 Мбайт при работе на центральном компьютере (Pentium III, 500 МГц) TwinCAT требуется всего лишь 1,3 мс. Это составляет 17% вычислительных возможностей Windows NT.

## Обеспечение надежности управления за счет скорости выполнения циклов обработки данных

Каждый из распределенных в системе транспортировки контроллеров BC9000 автономен. Мини-ПЛК обычно имеют от 40 до 50 подключенных входов-выходов, в пунктах или на подъемных станциях их может быть более 80. Кроме того, почти каждый контроллер BC9000 имеет считывающее устройство системы идентификации, подключенное через модуль ввода-вывода с последовательным интерфейсом. Подъемные станции оснащены двумя считывающими устройствами. В некоторых случаях на управляющих станциях имеется текстовый дисплей, на который выводится информация о текущем состоянии прикладной программы или станции.

Каждая тележка содержит носитель идентификационных данных, в котором хранятся данные о заказе и цели доставки. Наконец, все запомненные данные определяют технологический маршрут, пройденный тележкой через все 110 пунктов к перегрузочной станции на сборочном заводе компании Ford. С точки зрения технического контроля это означает, что данные, считываемые с носителя идентификационных данных, важны для корректировки пунктов и, таким образом, для отслеживания. В случае, когда две тележки прибывают одновременно, преимущество в получении доступа к пункту устанавливается правилом простой очереди. Таким образом, в пределах управляющих программ никаких приоритетов не имеется.

Хотя задачи, поставленные перед контроллерами BC9000 довольно комплексные, проблем с исполнением времени производственного цикла не возникает. Пока были зарегистрированы следующие значения по продолжительности цикла, включая интерфейсную обработку:

- | 5 мс для контроллера BC9000 без считывающего устройства,
- | 8 мс для контроллера с подключенным считывающим устройством,
- | 10 мс для контроллера BC9000, управляющего двумя пунктами,

20 мс для контроллера BC9000 для подъемной станции с более чем 80 входами-выходами (включая последовательный интерфейс).

Так как системы распределенного управления работают одновременно и как бы параллельно, время производственного цикла не представляется "Ахиллесовой пятой" всего проекта в отличие от того, что происходит в случае управления с использованием централизованных средств искусственного интеллекта.



*Мартин Ростан (Martin Rostan),  
продукт-менеджер по системам  
Fieldbus фирмы Beckhoff*

## Разновидности Ethernet – Краткий обзор

Адресация к узлам Profibus может производиться с любого локального устройства сети Ethernet – эти узлы не должны иметь дело с протоколами Ethernet, поскольку они связываются всего лишь посредством служб Profibus. Таким образом, Profinet, это (пока) не "Profibus на Ethernet", а скорее определенный интерфейс Ethernet по отношению к обычной Profibus сети. Здесь удаленные вызовы процедур (Remote Procedure Calls - RPC) используют протокол TCP/IP. В данном случае распределенная модель компонентных объектов (DCOM) обеспечивает интерфейс с клиентом RPC, хотя Microsoft более не продолжает разработку в этом направлении из-за неполной совместимости с Internet (например, преодоление брандмауэра).

Тем временем в Ассоциации пользователей Profibus (PNO) началась работа над специализированным протоколом, с помощью которого полевое устройство получало бы возможность связываться непосредственно через Ethernet (то есть, без Profibus).

## Ethernet/IP

Этот подход приводит к прямой конкуренции с ассоциацией *Open DeviceNet Vendor Association (ODVA)* и организацией *ControlNet International (CI)*, которые с помощью Ethernet/IP фактически вытесняют физические полевые шины DeviceNet и ControlNet стандартом Ethernet. В этом контексте, IP не означает "Internet Protocol" – протокол Internet (как это имеет место в случае с TCP/IP), а означает "Industrial Protocol" – промышленный протокол. Это снова вопрос защиты инвестиций, - в то время, пока ассоциация PNO "защищает" стандарт Profibus в целом, Ethernet/IP сохраняет общие протоколы высокого уровня DeviceNet и ControlNet для "прекрасного нового мира" Ethernet. Протокол управления и передачи данных (Control and Information Protocol - CIP) можно назвать общим знаменателем и он охватывает всю объектную модель, а, следовательно, также и профили устройств DeviceNet и ControlNet. Ethernet/IP формирует службы CIP по TCP/IP и UDP/IP: Службы ациклических параметров (явная передача сообщений) основываются на подключении, ориентированном на протокол TCP/IP, тогда как данные процесса (передача сигналов ввода-

вывода) основываются на UDP/IP который, не используя подключение, работает быстрее. Поскольку объектная модель и принципы построения протокола для Ethernet/IP, DeviceNet и ControlNet во многом совпадают, между различными шинами могут использоваться относительно простые маршрутизаторы – не такие сложные, как шлюзы Profinet. Элементы спецификации Ethernet/IP были в течение двух лет частью спецификации ControlNet. С апреля 2001 г. появилась возможность бесплатно загрузить полную спецификацию с сайта ассоциации ODVA (Ассоциации производителей устройств Open DeviceNet). Там же имеется пример исходного кода для ведомого устройства.

### IDA

Интерфейс для распределенной автоматизации ("Interface for Distributed Automation") развивается консорциумом компаний, основанных по инициативе компании *Kuka GmbH*. Вдохновение черпается в предвидении создания всеобъемлющего стандарта для технологии автоматизации на основе Ethernet. Недавно началось формирование специализированной организации пользователей *IDA Group e.V.* Консорциум поставил перед собой ряд амбициозных целей. Планируется, что разрабатываемый протокол IDA должен обеспечивать работу в режиме реального времени, позволяя, например, осуществлять по Ethernet высокоточную синхронизацию приводов, должна быть стандартизована параметризация устройств через веб-серверы и через Ethernet реализоваться безопасность работы станков, а механизм "Plug and Play" должен обеспечиваться и для полевых устройств. Протокол IDA использует программное обеспечение NDDS Middleware, которое подобно Ethernet/IP, применяет службы протокола TCP/IP для передачи параметров, а также UDP/IP, следуя принципу "издателя/подписчика" для передачи технологических данных. Группа IDA также планирует свободно и бесплатно предоставлять доступ к соответствующей спецификации и исходному коду. Первый вариант спецификации был опубликован во время проведения выставки в Ганновере.

### ModbusTCP

Это, вероятно, один из наиболее широко используемых протоколов автоматизации Ethernet, – его просто легко реализовывать. Хорошо известный последовательный протокол Modbus упакован в сегменты TCP/IP. ModbusTCP работает в соответствии с принципом главного и подчиненного элементов. Главный элемент посылает свой запрос подчиненному, и в то же время может передавать выходные данные. Подчиненный элемент отвечает, направляя свои входные данные. Процедура опроса организуется очень просто и использует контроль подключения TCP/IP. Необходимо всего лишь несколько служб, а достигаемая производительность для многих приложений более чем достаточна. Простые примеры программ можно найти в Интернете или получить, обратившись в компанию *Beckhoff*, – главный элемент ModbusTCP можно очень быстро реализовать на интерфейсе сокета TCP.

### IAONA

Утверждение Ethernet в качестве стандарта автоматизации является целью Открытого сетевого альянса в области промышленной автоматизации (*Industrial Automation Open Networking Alliance - IAONA*). Первоначально основанный в США как IAONA USA, этот Альянс в Европе (IAONA Europe) был создан в конце 1999,

– и в настоящее время, насчитывая около 130 членов, до сих пор является наиболее активной ассоциацией. После безуспешной попытки объявить концепцию IDA собственностью IAONA и объединить IAONA с консорциумом IDA был принят более открытый, глобальный подход: В настоящее время IAONA заявляет о себе, как о нейтральной организации, отстаивающей позиции промышленного стандарта Ethernet. Эта новая роль IAONA подтверждает факт существования значительных, но все еще несовместимых решений в области создания протоколов для промышленного стандарта Ethernet. IAONA теперь делает попытку предотвратить дальнейший дрейф решений, фактически ставших стандартами, в различных направлениях. В ноябре 2000 между IAONA Europe, IAONA US, IDA Group и ODVA был подписан договор о взаимопонимании, в котором ODVA и IDA объявляют о своей готовности согласовывать друг с другом дальнейшие разработки под эгидой IAONA. Таким образом, например, должны быть совместно разработаны руководящие указания, касающиеся построения кабельных систем, определения приоритетов при передаче сообщений, использования веб-серверов, механизма "Plug and Play", а также аспектов обеспечения безопасности. К участию в этой работе приглашаются и другие заинтересованные группы. IAONA адаптировала свою структуру к изменившимся внешним условиям и создала Организационный технический комитет (Technical Steering Committee - TSC), который призван организовывать совместные рабочие группы и координировать их работу. Компания *Beckhoff* выбрана в качестве представителя европейских членов IAONA в TSC.

### Компания Beckhoff и Ethernet

Как уже упоминалось в начале, компания *Beckhoff* в течение многих лет вела серьезные разработки в области применения Ethernet к сетевому подключению контроллеров. Используя контроллер узлов сети BK9000 и программируемый контроллер BC9000 для модулей Bus Terminal, вся обширная линейка шинных электронных модулей ввода-вывода фирмы *Beckhoff* может быть непосредственно подключен к сети Ethernet. Протоколы, имеющиеся для этих распределенных Ethernet станций ввода-вывода, в настоящее время включает как ADS (основанный на TCP/IP или UDP/IP), так и ModbusTCP, – модульная структура стека протоколов Ethernet позволяет объединять ряд версий в едином программно-аппаратном комплексе (и в единой системе технических средств). Последуют и другие версии протоколов в соответствии с их значением для рынка. В настоящее время Ethernet устройства ввода-вывода компании *Beckhoff* могут работать со всеми значимыми разновидностями Ethernet

#### Представительство Beckhoff

107005 Москва, Россия

Набережная академика Туполева д.15, кор. 2

Тел. +7 095 980 80 15, факс +7 095 980 80 16

info@beckhoff.ru • www.beckhoff.ru