

# CAN-технологии для транспортных систем

Вознесенский А.Н., к.т.н.  
ОАО «НАТИ», Москва  
Чепурнов А.С., к.ф.-м.н.,  
Грибов И.В., к.ф.-м.н.  
ООО «Марафон», Москва

9 марта 2006 года состоялось заседание Правительства Российской Федерации, на котором рассматривался вопрос о развитии отечественного сельскохозяйственного машиностроения. В соответствии с протоколом заседания Министерства промышленности и энергетики Российской Федерации (Минпромэнерго России) выпустило Приказ № 96 от 27 апреля 2006 года «Об утверждении Плана мероприятий по развитию отечественного сельскохозяйственного машиностроения на 2006-2008 годы».

Кроме прочего, План мероприятий предусматривает подготовку «Проекта ведомственной целевой программы по разработке гусеничного трактора класса 5,0 т.с. и зер-

ноуборочного комбайна 6 класса на период 2006-2008 гг.». Предполагается возможность поставки трактора за рубеж.

Между тем известно, что сельскохозяйственные и промышленные тракторы на мировом рынке оснащены современными электронными средствами и разветвленной сетевой структурой на основе CAN-шины (рис. 1).

Шина CAN разрабатывалась фирмой BOSCH начиная с 1982 г., и в 1986 г. была проведена первая общественная презентация этой шины в Детройте на конференции сообщества инженеров автомобилестроения (SAE). Место презентации было выбрано не случайно, а именно в связи с тем, что шина CAN изначально разрабатывалась для применения в автомобильной электронике для построения распределенных систем контроля и управления как основными агрегатами, такими как

двигатель, трансмиссия, электронные системы безопасности и устойчивости движения, так и вспомогательными, такими как стеклоподъемники, освещение в салоне, музыкальные устройства.

В 1989 году фирмами Intel и Philips были выпущены первые микросхемы с аппаратной реализацией контроллеров CAN-шины, а в начале 1990-х годов подкомитет по системам управления SAE приступил к разработке прикладного профиля на основе полевой шины CAN для внутренней коммуникационной сети грузовых автомобилей. Был разработан прикладной протокол шины CAN J1939, который определяет обмен данными между двигателем, трансмиссией, тормозной системой и первоначально был ориентирован на дизельные грузовые автомобили.

В 1998 году SAE опубликовал набор спецификаций J1939, используемый для объединения кон-

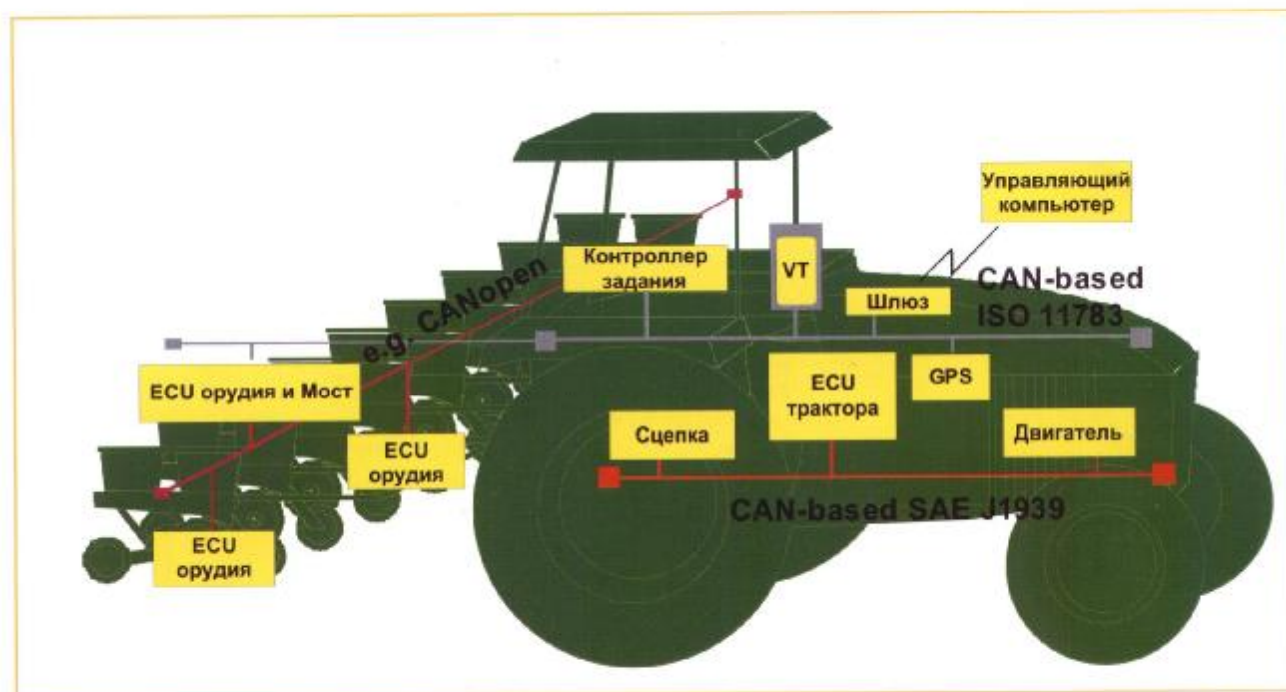


Рис. 1. Сетевая структура электронных средств управления и контроля современного трактора на основе CAN-технологии

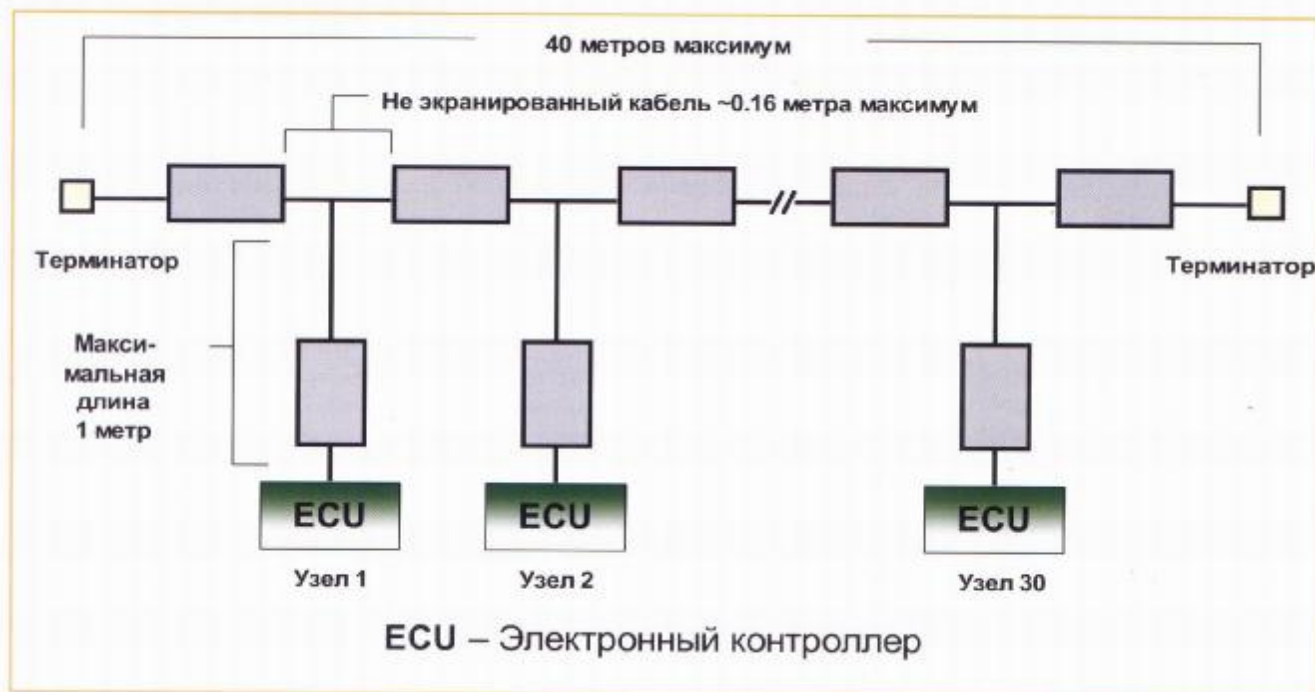


Рис. 2. Топология CAN-шины, реализующая стандарт физического уровня J1939 / 11

троллеров в грузовиках и трейлерах.

Ряд протоколов, основанных на J1939, был утвержден международной организацией по стандартизации ISO. К ним относятся прикладной CAN-профиль для грузовиков и трейлеров ISO 11992 и прикладной профиль для сельскохозяйственных и лесоводческих машин ISO 11783.

Благодаря усилиям некоммерческой ассоциации пользователей шины CAN «CAN in Automation» был разработан протокол верхнего уровня CANopen. Семейство профилей CANopen было предложено в 1994 году, и впоследствии был принят международный стандарт DIN EN 50325-4. Решение оказалось удачным и протокол CANopen был принят как основной во встроенных сетях управления и контроля, построенных на шине CAN в таких областях промышленности, где требуется интеграция сложных исполнительных устройств и датчиков, разработанных и изготавливаемых разными производителями. В течение нескольких лет CANopen получил, в первую очередь в Европе, широкое распространение в железнодорожном транспорте, муниципальном транспорте (автобусы, трамваи, троллейбусы и легкое метро), мор-

ском транспорте, машиностроении и сложной медицинской технике. Протокол CANopen был выбран как основной для построения систем, в которых требуется масштабируемость, модульность и взаимозаменяемость отдельных узлов и агрегатов при сложной функциональности. К таким системам относятся системы навесных орудий для сельскохозяйственной техники и различные уборочные сельхозмашины, системы навесного оборудования для дорожной техники и машины, используемые для строительства дорожного полотна, системы навесного оборудования для пожарных машин, навесное оборудование для муниципальной уборочной техники. Использование технологии шлюзов позволило объединить систему управления дизельного двигателя или всего автомобильного шасси, построенную на шине CAN с протоколом J1939, с системой управления другим функциональным и вспомогательным оборудованием, также использующую шину CAN, но с протоколом CANopen.

Таким образом, технология применения распределенных систем управления с использованием стандартизированных шин, таких как CAN, и протоколов ве-

рхнего уровня, таких как J1939 и CANopen, является на сегодня современным подходом для построения систем управления транспортных средств и систем, обладающих свойствами модульности и многофункциональности. Развитие и применение этой технологии в России при разработке перспективных транспортных средств является единственным шансом для интеграции в международную кооперацию, как в области совместного проектирования, так и в области реализации и эксплуатации транспортных средств.

### Семейство профилей J1939

Основной документ, описывающий прикладной протокол J1939, включает в себя общее описание семейства профилей, таблицу распределения адресов, содержимое поля данных и другие необходимые для реализации сведения. Профиль J1939/01 используется в грузовиках и автобусах, а J1939/02 применяется в строительной и сельскохозяйственной технике.

Физический уровень J1939 может быть реализован несколькими спо-

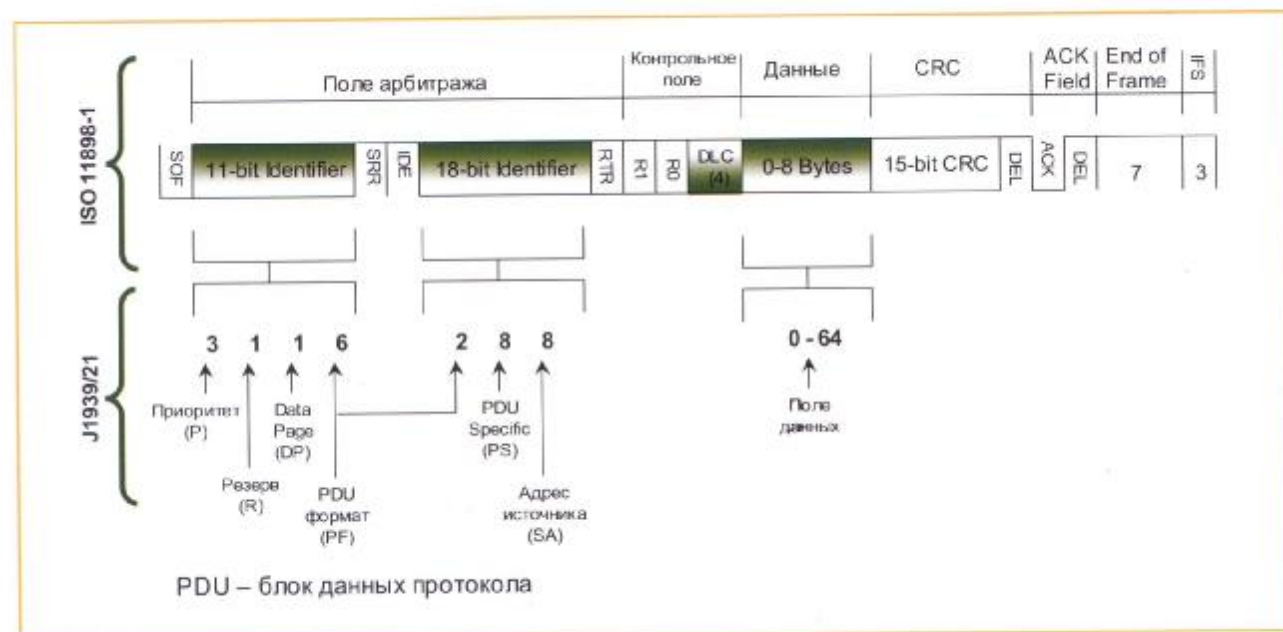


Рис. 3. Формат кадров канального уровня J1939/21.

собами и определяющая его документация состоит из следующих разделов:

- J1939/11 - обмен со скоростью 250 кбит/с, шина на основе экранированной витой пары;
- J1939/12 - витая четверка совместно с активными терминаторами шины;
- J1939/13 - сопряжение с внешним диагностическим оборудованием;
- J1939/15 - упрощенная реализация: скорость обмена 250 кбит/с и не экранированная витая пара.

Протокол J1939/21 (канальный уровень) и J1939/31 (сетевой уровень) для грузовиков и автобусов) единообразно реализуются для всех J1939 совместимых приложений. Для описания решений прикладного уровня также используются подмножества стандарта:

- J1939/71 - прикладной уровень транспортного средства;
- J1939/81 - протоколы управление сетью;
- J1939/73 - прикладной уровень диагностики.

На рисунке 2 приведена топология CAN-шины, реализующая стандарт физического уровня J1939/11.

Он обладает следующими основными характеристиками:

- физическая среда на основе экранированной скрученной пары с заземлением и терминальными резисторами на обоих концах;
- сетевые соединители на основе 3-х контактных не экранированных разъемов. Контакты соответствуют сигналам CAN\_H, CAN\_L и экран;
- физический уровень не отказоустойчивый;
- в сегменте сети может быть до 30 узлов.

В качестве примера также приведем основные характеристики физического уровня J1939/12:

- физическая среда на основе скрученной не экранированной четверки проводов. В качестве терминаторов используются источники тока со смещением;
- сетевые соединители на основе 4-х контактных не экранированных разъемов. Контакты соответствуют сигналам CAN\_H, CAN\_L, питание и земля;
- отказоустойчивый физический уровень;
- в сегменте сети может быть свыше 30 узлов.

На рисунке 3 приведен формат кадров канального уровня J1939/21.

J1939/21 основан на стандартном CAN кадре канального уровня с 29-битовым идентификатором. Формат этого кадра определен стандартом ISO 11898-1. А вот распределение отдельных бит идентификатора и правила заполнения поля данных относятся к ведению собственного стандарта J1939/21. Именно он определяет то, каким образом задается трехбитовый приоритет сообщения (P), выбор страницы данных (DP), адреса источника и получателя кадра и другие параметры CAN сообщения. Отображение данных в CAN кадры задается посредством номеров групп параметров, которые состояются из зарезервированного бита, бита выбора страницы, PF поля и параметра расширения группы PS - всего 18 бит.

Из общего числа 8672 возможных значений содержимого данных определены 13 зависимых от получателя и 38 расширенных идентификаторов, а также большая часть групп параметров, необходимых для систем грузовиков и автобусов.

## Профиль ISO 11783 или ISOBUS

Профиль ISO 11783 для сельскохозяйственных и лесоводческих машин основан на стандарте J1939. ISOBUS определяет сеть с последовательной передачей данных для связи и управления на лесо- и сельскохозяйственных тракторах, а также монтируемых, полумонтируемых либо самоходных орудиях. Цель профиля - стандартизировать методы и формат передачи данных между датчиками, приводами, элементами управления, хранилищами информации и дисплеями (монтированными либо являющимися частью трактора или орудия). Результатом должно стать доведение уровня стандартизации до степени, позволяющей контроллерам различных производителей обмениваться информацией друг с другом.

Профиль ISO 11783 позволяет:

- обмениваться стандартизированной и проприетарной информацией;
- организовать замкнутые контуры сетевого управления (тактирование до 10 мс);
- обеспечить пропускную способность приблизительно 5.6 килобайт в секунду (30% нагрузка) с пиковым трафиком до 16 кбайт/с;
- поддерживать латентность шины от 0.5 мс в зависимости от приоритета сообщений и нагрузки;
- подключать до 30 узлов в подсети и до 254 узлов в системе;
- обеспечивать различные сельскохозяйственные приложения (прецизионное фермерское хозяйство);
- поддерживать агрегаты силовой передачи, тормозов, освещения, панели управления.

Для ISO 11783 существуют в качестве стандарта либо разрабатываются (выделены курсивом) следующие основные документы:

- Общий стандарт для передачи мобильных данных
- Физический уровень
- Канальный уровень
- Сетевой уровень
- Управление сетью
- Виртуальный терминал

- Уровень сообщений для орудий
- Слововая передача
- Контроллер трактора
- Контроллер задания и интерфейс управляющего компьютера
- Объектный словарь
- Диагностика
- Файл сервер

## Вопросы реализации стандартов

На сегодняшний день в России полностью реализован только один из CAN протоколов верхнего уровня — стандарт CANopen. К началу 2005 года ООО «Марафон» была завершена разработка коммуникационного профиля CiA DS301 – библиотека CANopen. Ее применение дает возможность быстро создавать программное обеспечение CANopen совместимых устройств. Наряду с библиотекой разработан набор инструментальных средств, позволяющих производить тестирование и отладку различных CANopen устройств. Анализатор трафика сетевого протокола дает возможность интерпретировать все CANopen события: как протоколы, так и сетевые объекты. Сценарный и интерактивный конфигураторы предоставляют широкие возможности для отладки и настройки любых CANopen устройств различных производителей. Общее время разработки CANopen библиотеки составило около двух человеко-лет, набора программных инструментальных средств – порядка одного человеко-года.

Опыт, полученный при создании библиотеки CANopen, позволяет надеяться на существенное сокращение времени реализации других CAN протоколов и профилей. Можно ожидать приблизительно двукратное сокращение общего времени разработки как соответствующих библиотек, так и необходимых инструментальных средств. Такие оценки основаны на возможности использования готовых, отлаженных алгоритмов и решений, а также на опыте переноса CANopen приложений на микроконтроллерные платформы (Fujitsu MB90F497, Texas Instruments TMS320F28XX, ARM7). Реализация

рабочего прототипа протокола, необходимого для разработки конечных изделий и устройств, обычно занимает 4-5 человеко-месяцев.

Таким образом, затраты на реализацию стека CAN протоколов оказываются вполне умеренными. Собственная реализация протоколов – в отличие от приобретения библиотек у зарубежных разработчиков – позволяет получить лицензионно чистый программный продукт, допускающий любые уровни тестирования и сертификации. Помимо этого, поддержка разработанного программного обеспечения также будет осуществляться силами Российских фирм-разработчиков. Становится также возможным обучение и участие в проектах отраслевых инженеров, что позволит сформировать высококвалифицированные команды специалистов, которые смогут осуществлять поддержку и продвижение CAN технологий в различных отраслях промышленности.

Возвращаясь к упомянутой теме оснащения сельскохозяйственных и промышленных тракторов электронными средствами (см. рис 1), считаем, что необходимо использовать в разработке нового трактора современные достижения CAN-технологии.

Имея опыт создания электронных систем электрогидравлического управления трансмиссией тракторов, а также информационно-управляющих систем, в том числе в мультиплексном исполнении, первостепенной задачей является системная интеграция тракторной информационно-управляющей системы (ТРИ-УС) на основе международных стандартов SAE J1939, ISO 11783 и CANopen.

Этому, несомненно, способствует складывающаяся в настоящее время кооперация между признанным научным центром тракторостроения Научно-исследовательским тракторным институтом ОАО "НАТИ", который в 2005 году отметил свое 80-летие, и ООО «МАРАФОН» – фирмой, имеющей десятилетний опыт разработок, внедрения и обучения технологии CAN.